



**ISSN** INTERNATIONAL  
STANDARD  
SERIAL  
NUMBER

**ISSN**  
2782-4365

Проверить  
номер:



Научно-образовательный электронный журнал

# ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ

Выпуск №67-3 (том 3)  
(октябрь, 2025)



Google  
Scholar



Периодичность выпуска: 1 раз в неделю

Сайт: [mpcareer.ru/oinv21veke](http://mpcareer.ru/oinv21veke). Почта: [obrmpcareer@mail.ru](mailto:obrmpcareer@mail.ru)



Международный научно-образовательный  
электронный журнал  
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ»

ISSN 2782-4365

УДК 37

ББК 94

**Международный научно-образовательный электронный журнал  
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ». Выпуск №67-3 (том 3) (октябрь,  
2025). Дата выхода в свет: 20.10.2025.**

Журнал объединяет авторов на территории стран СНГ и помогает обмениваться передовыми научно-образовательными исследованиями.

Содержит научные статьи отечественных и зарубежных авторов по экономическим, техническим, философским, юридическим и другим наукам.

Миссия научно-образовательного электронного журнала «ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ» состоит в поддержке интереса читателей к оригинальным исследованиям и инновационным подходам в различных тематических направлениях, которые способствуют распространению лучшей отечественной и зарубежной практики в интернет пространстве.

Целевая аудитория журнала охватывает работников сферы науки и образования (педагоги, учителя, ученые, преподаватели, научные сотрудники, бакалавры, магистранты, аспиранты).

Материалы публикуются в авторской редакции. За соблюдение законов об интеллектуальной собственности и за содержание статей ответственность несут авторы статей. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

© ООО «МОЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ КАРЬЕРА»

© Коллектив авторов

Дидарова Енеджан, Реджепгельдиев Реджепгельди, Нурмухаммедов Меретмухаммет, Мухамметгулыев Байрам <b>ВЫРАЩИВАНИЕ ХРИЗАНТЕМЫ ДЛЯ ДЕКОРАЦИЙ</b>	221
Сапармурадов Рахым, Гараева Бегсона, Пирджанова Тавус <b>АЗОТ В ОВОЩЕВОДСТВЕ ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАНИЯ И КОНТРОЛЬ СОДЕРЖАНИЯ НИТРАТОВ</b>	225
Айна Атаджумаева, Егенмурадова Огулдурды, Ханов Емир, Кахарова Селби <b>ВЛИЯНИЕ СРОКОВ ПОСЕВА НА УРОЖАЙНОСТЬ КАРТОФЕЛЯ: РАЗНИЦА ДНЕЙ</b>	229
Гошаева Айсенем, Сарыев Атамурат, Матниязов Айбек <b>ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВЫРАЩИВАНИЕ КАРТОФЕЛЯ</b>	233
Гурджиев Гурбангелди, Маматов Тойлы, Атаева Тавус, Гелдиева Бибиджан <b>РИСКИ И МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ</b>	237
Курбанов Батыр, Эсенов Нургулы, Курбанов Тагандурды <b>ВЛИЯНИЕ БИОГУМУСА НА УРОЖАЙНОСТЬ ХЛОПЧАТНИКА</b>	241
Гозел Кулбаева, Ахмедов Эсенгелди, Чарыев Бабамырат <b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА STEM ПРИ ПРЕПОДАВАНИИ ЭКОНОМИКИ В ВУЗАХ</b>	245
Душимова Дурсунджемал, Батыров Аташ, Гурбандурдыев Гурбандурды <b>ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ВЫРАЩИВАНИЕ ПОМИДОРОВ</b>	249
Хуммедов Гылычныяз, Абдыева Огуламан, Акмырадова Дурдане <b>ЗАДАЧИ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ В ОЛИМПИАДАХ: МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ</b>	253
Текаева Махриджемал, Ахмедова Севинч, Айтмедова Мерджен <b>ОСОБЕННОСТИ ОБУЧЕНИЯ ИНФОРМАТИКЕ В ШКОЛАХ ПО ИННОВАЦИОННЫМ МЕТОДАМ</b>	269
Гуванджова Ширин, Ерешов Атамурат, Батырова Меръем <b>ВЫРАЩИВАНИЕ КЛЕВЕРА И УЛУЧШЕНИЕ ПОЧВЫ В ПЛОДОВОМ САДОВОДСТВЕ</b>	273
Дурдыева Майя, Оразова Гулхан <b>ТОКСИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ПЕСТИЦИДОВ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА: МЕХАНИЗМЫ И РИСКИ</b>	277
Реджепова Бахар, Акгаев Сылапберди Иалкапбердиевич, Акжаев Хезреталы Ходжаназарович <b>ОРГАНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОГАЛОГЕНИДОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ</b>	281

**ФИО автора(-ов):** *Реджепова Бахар*

*Преподаватель химического факультета Туркменского государственного университета имени Махтымкули*

*Акгаев Сылапберди Йалкапбердиевич, Акжаев Хезреталы Ходжаназарович*

*Студенты химического факультета Туркменского государственного университета имени Махтымкули*

**Название публикации:** «ОРГАНИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОГАЛОГЕНИДОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ»

**Аннотация.** В представленной работе проведен комплексный анализ современного состояния органического синтеза с использованием металлогалогенидных соединений в качестве ключевых реагентов и катализаторов. Рассмотрены теоретические основы реакционной способности металлогалогенидов различной природы, включая соединения магния, цинка, лития и переходных металлов. Особое внимание уделено механизмам активации органических субстратов под действием металлогалогенидных комплексов, а также влиянию природы галогена и металлического центра на селективность и эффективность синтетических превращений. Проанализированы достижения последних лет в области применения металлогалогенидов для конструирования углерод-углеродных и углерод-гетероатомных связей, проведения кросс-сочетательных реакций и каталитических процессов. Представлены данные о применении современных металлогалогенидных систем в синтезе биологически активных соединений, фармацевтических субстанций и функциональных материалов. Обсуждаются перспективы развития данного направления органического синтеза с учетом принципов зеленой химии и требований устойчивого развития.

**Ключевые слова:** металлогалогениды, органический синтез, катализ, кросс-сочетание, реагенты Гриньяра, цинкорганические соединения, селективность реакций, механизмы активации

**Rejepova Bahar**

*Lecturer at the Faculty of Chemistry of Magtymguly Turkmen State University*

**Akgaev Sylapberdi Yalkapberdievich, Akjaev Hezretaly Hojanazarovich**

*Students of the Faculty of Chemistry of Magtymguly Turkmen State University*

**ORGANIC SYNTHESIS BASED ON METAL HALIDES: MODERN  
APPROACHES AND DEVELOPMENT PROSPECTS**

**Abstract.** This work presents a comprehensive analysis of the current state of organic synthesis using metal halide compounds as key reagents and catalysts. The theoretical foundations of the reactivity of metal halides of various nature are considered, including compounds of magnesium, zinc, lithium and transition metals. Particular attention is paid to the mechanisms of activation of organic substrates under the action of metal halide complexes, as well as the influence of the nature of the halogen and metal center on the selectivity and efficiency of synthetic transformations. Recent advances in the application of metal halides for the construction of carbon-carbon and carbon-heteroatom bonds, cross-coupling reactions and catalytic processes are analyzed. Data on the use of modern metal halide systems in the synthesis of biologically active compounds, pharmaceutical substances and functional materials are presented. Prospects for the development of this direction of organic synthesis are discussed, taking into account the principles of green chemistry and sustainable development requirements.

**Keywords:** metal halides, organic synthesis, catalysis, cross-coupling, Grignard reagents, organozinc compounds, reaction selectivity, activation mechanisms

**Введение**

Органический синтез на основе металлогалогенидных соединений представляет собой одно из наиболее динамично развивающихся направлений современной синтетической химии. Металлогалогениды занимают особое место в арсенале синтетических методов благодаря своей способности эффективно

активировать органические субстраты, обеспечивать высокую региоселективность и стереоселективность превращений, а также катализировать широкий спектр химических реакций. Актуальность исследований в данной области определяется непрерывно возрастающими требованиями современной фармацевтической промышленности, материаловедения и тонкого органического синтеза к разработке эффективных, экономически выгодных и экологически безопасных методов получения целевых продуктов.

История применения металлогалогенидов в органическом синтезе началась более столетия назад с открытия реагентов Гриньяра, которые произвели революцию в синтетической химии и открыли новые горизонты для конструирования сложных органических молекул. С тех пор арсенал металлогалогенидных реагентов значительно расширился, включив соединения различных металлов от щелочных до переходных, что позволило существенно расширить синтетические возможности и повысить эффективность органических превращений. Современный этап развития характеризуется глубоким пониманием механизмов действия металлогалогенидов, разработкой новых каталитических систем и внедрением компьютерного моделирования для прогнозирования реакционной способности.

Особую значимость металлогалогениды приобрели в связи с развитием методов кросс-сочетательных реакций, за разработку которых была присуждена Нобелевская премия по химии. Эти реакции позволяют эффективно формировать углерод-углеродные связи в мягких условиях с высокой селективностью, что делает их незаменимыми инструментами в синтезе природных соединений, лекарственных препаратов и функциональных материалов. Металлогалогениды в таких процессах выступают как в роли реагентов, так и в качестве катализаторов или прекатализаторов, обеспечивая протекание реакций по желаемому направлению.

## **Теоретические основы реакционной способности металлогалогенидов**

Реакционная способность металлогалогенидных соединений определяется сложным комплексом факторов, включающих электронное строение металлического центра, природу галогена, стерические эффекты лигандного окружения и влияние растворителя. Металлогалогенидная связь характеризуется значительной долей ионности, что обуславливает высокую полярность этих соединений и их способность вступать в разнообразные химические превращения. Электроотрицательность галогена играет критическую роль в определении реакционной способности металлогалогенидного комплекса, при этом более электроотрицательные галогены способствуют увеличению электрофильности металлического центра.

Координационная сфера металла в металлогалогенидных соединениях может варьироваться в широких пределах в зависимости от природы металла, галогена и условий реакции. Растворители с донорными свойствами способны координироваться с металлическим центром, изменяя его электронную конфигурацию и реакционную способность. Эфирные растворители особенно эффективны для стабилизации металлогалогенидных реагентов на основе магния и лития, образуя сольватные комплексы с определенной геометрией и реакционной способностью. Понимание этих координационных взаимодействий позволяет целенаправленно контролировать ход синтетических превращений.

Механизмы активации органических субстратов металлогалогенидами включают электрофильную активацию карбонильных соединений, координацию с ненасыщенными связями и образование металлоорганических интермедиатов. В случае реагентов Гриньяра активация субстрата происходит через координацию атома магния с электроноакцепторными группами, что приводит к поляризации связей и облегчению нуклеофильной атаки. Для переходных металлов характерны более сложные механизмы, включающие окислительное присоединение, трансметаллирование и восстановительное элиминирование, что открывает возможности для проведения многостадийных каталитических циклов.

## **Металлогалогениды щелочных и щелочноземельных металлов в органическом синтезе**

Реагенты Гриньяра представляют собой магнийорганические соединения общей формулы  $\text{RMgX}$ , где R является органическим радикалом, а X представляет собой атом галогена. Эти соединения характеризуются высокой нуклеофильностью и способностью вступать в реакции с широким спектром электрофильных субстратов, включая альдегиды, кетоны, сложные эфиры, эпоксиды и нитрилы. Получение реагентов Гриньяра осуществляется путем взаимодействия органических галогенидов с металлическим магнием в среде безводных эфирных растворителей. Критическим фактором успешного синтеза является абсолютное отсутствие влаги и кислорода, поскольку реагенты Гриньяра чрезвычайно чувствительны к протонным примесям.

Литийорганические соединения обладают еще более высокой реакционной способностью по сравнению с магнийорганическими реагентами благодаря меньшей электроотрицательности лития и большей ионности связи углерод-литий. Органолитиевые реагенты широко применяются для металлирования органических соединений, депротонирования кислых протонов и проведения реакций нуклеофильного присоединения. Особую ценность представляют реакции галоген-литиевого обмена, позволяющие генерировать высокореакционные литийорганические интермедиаты из соответствующих органических галогенидов при низких температурах. Использование литийгалогенидов в качестве добавок часто позволяет повысить селективность и выход целевых продуктов.

Цинкорганические соединения занимают промежуточное положение по реакционной способности между реагентами Гриньяра и литийорганическими соединениями, что делает их особенно привлекательными для селективных синтезов. Органоцинковые реагенты демонстрируют высокую толерантность к функциональным группам и могут быть использованы в присутствии сложноэфирных, нитрильных и даже некоторых карбонильных группировок. Реакции Негиши, основанные на кросс-сочетании органоцинковых соединений

с органическими галогенидами в присутствии палладиевых катализаторов, стали важнейшим инструментом современного органического синтеза для построения углерод-углеродных связей.

### **Каталитические системы на основе металлогалогенидов переходных металлов**

Металлогалогениды переходных металлов открывают уникальные возможности для проведения каталитических реакций благодаря способности этих металлов существовать в различных степенях окисления и формировать разнообразные координационные соединения. Палладиевые катализаторы на основе галогенидов палладия стали золотым стандартом для кросс-сочетательных реакций, включая реакции Сузуки, Негиши, Хека и Стилле. Механизм действия палладиевых катализаторов включает последовательность окислительного присоединения органического галогенида к комплексу палладия нулевой степени окисления, трансметаллирование с металлоорганическим реагентом и восстановительное элиминирование с образованием целевого продукта и регенерацией активной формы катализатора.

Никелевые катализаторы представляют экономически привлекательную альтернативу палладиевым системам, при этом демонстрируя во многих случаях сопоставимую или даже превосходящую активность. Галогениды никеля эффективно катализируют реакции кросс-сочетания с участием менее активных субстратов, таких как арилхлориды и алкилгалогениды, которые зачастую инертны в условиях палладиевого катализа. Кроме того, никелевые комплексы способны активировать углерод-кислородные связи в фенольных эфирах, открывая новые синтетические возможности для функционализации ароматических соединений. Особенностью никелевого катализа является склонность к образованию одноэлектронных интермедиатов, что позволяет реализовывать радикальные механизмы превращений.

Медные катализаторы на основе галогенидов меди находят широкое применение в реакциях кросс-сочетания по Ульману и его современных модификациях, позволяющих формировать связи углерод-азот, углерод-

кислород и углерод-сера. Использование хелатирующих лигандов существенно повышает активность медных катализаторов, позволяя проводить реакции в более мягких условиях с расширенным кругом субстратов. Медные катализаторы также эффективны в реакциях клик-химии, в частности в азид-алкиновом циклоприсоединении, которое нашло многочисленные применения в биоконъюгации, материаловедении и лекарственном дизайне. Галогениды меди в сочетании с подходящими лигандами демонстрируют высокую каталитическую активность при относительно низких температурах.

### **Применение металлогалогенидов в асимметрическом синтезе**

Асимметрический синтез с использованием хиральных металлогалогенидных комплексов представляет одно из наиболее перспективных направлений современной органической химии, позволяющее получать энантиомерно чистые соединения, необходимые для фармацевтической промышленности. Хиральные лиганды, координированные с металлическим центром, создают асимметрическое окружение, которое обеспечивает энантиоселективное протекание реакций. Особенно эффективными оказались системы на основе галогенидов титана, циркония и алюминия с хиральными диольными или аминспиртовыми лигандами, которые катализируют асимметрические реакции присоединения к карбонильным соединениям с высокими энантиомерными избытками.

Хиральные медные комплексы на основе галогенидов меди с хиральными бисоксазолиновыми лигандами демонстрируют выдающуюся энантиоселективность в реакциях циклопропанирования, альдольной конденсации и реакциях Дильса-Альдера. Природа галогена в исходном медном комплексе оказывает существенное влияние на каталитическую активность и энантиоселективность, что связано с различной способностью галогенид-ионов координироваться с металлическим центром и влиять на геометрию переходного состояния. Систематические исследования показали, что хлоридные комплексы часто демонстрируют оптимальный баланс между реакционной способностью и селективностью.

Родиевые катализаторы на основе галогенидов родия с хиральными фосфиновыми лигандами нашли широкое применение в асимметрическом гидрировании функционализированных алкенов и иминов. Эти каталитические системы позволяют получать хиральные аминокислоты, фармацевтические интермедиаты и другие ценные хиральные строительные блоки с энантиомерными избытками, превышающими девяносто пять процентов. Разработка новых хиральных лигандов для родиевых комплексов остается активной областью исследований, направленной на расширение субстратной специфичности и повышение эффективности каталитических систем.

### **Металлогалогениды в синтезе гетероциклических соединений**

Гетероциклические соединения составляют основу многих биологически активных молекул и фармацевтических препаратов, что делает разработку эффективных методов их синтеза одной из приоритетных задач органической химии. Металлогалогениды играют ключевую роль в современных методах конструирования гетероциклов благодаря своей способности активировать различные функциональные группы и катализировать циклизационные процессы. Цинковые галогениды широко применяются для активации карбонильных соединений в реакциях гетероциклизации, включая синтез пиранов, фуранов и индолов. Мягкая кислотность Льюиса цинковых катализаторов позволяет проводить реакции в присутствии чувствительных функциональных групп.

Железные катализаторы на основе галогенидов железа демонстрируют высокую эффективность в окислительных циклизациях, приводящих к образованию азотсодержащих гетероциклов. Доступность и низкая токсичность железа делают эти каталитические системы особенно привлекательными с точки зрения зеленой химии. Галогениды железа катализируют циклизацию алкинов с образованием индолов, хинолинов и изохинолинов через механизмы, включающие координацию тройной связи с металлическим центром и последующую нуклеофильную атаку азотсодержащего нуклеофила.

Варьирование природы галогена позволяет тонко настраивать реакционную способность железных комплексов.

Индиевые галогениды представляют уникальный класс катализаторов для синтеза гетероциклов в водных средах, что открывает новые возможности для проведения экологически безопасных синтезов. Хлорид индия эффективно катализирует многокомпонентные реакции, приводящие к образованию полизамещенных пиридинов, пиримидинов и других азаетероциклов. Способность индиевых катализаторов функционировать в присутствии воды обусловлена особенностями координационной сферы индия и относительно слабым взаимодействием с молекулами воды. Эти свойства делают индиевые катализаторы перспективными для применения в промышленном органическом синтезе.

### **Современные тенденции и перспективы развития**

Современное развитие химии металлогалогенидов характеризуется стремлением к созданию более эффективных, селективных и экологически безопасных каталитических систем. Концепция зеленой химии стимулирует разработку металлогалогенидных катализаторов на основе распространенных и нетоксичных металлов, таких как железо, марганец и кобальт, которые могут заменить дорогостоящие и токсичные палладиевые и родиевые системы. Значительные усилия направлены на создание гетерогенных катализаторов путем иммобилизации металлогалогенидных комплексов на твердых носителях, что упрощает их отделение от реакционной смеси и повторное использование, снижая общую стоимость процесса.

Применение вычислительных методов и квантово-химических расчетов для предсказания реакционной способности металлогалогенидов и оптимизации каталитических систем становится неотъемлемой частью современных исследований. Компьютерное моделирование позволяет детально изучить механизмы реакций, идентифицировать ключевые интермедиаты и переходные состояния, а также предсказать влияние структурных модификаций лигандов на каталитическую активность и селективность. Интеграция экспериментальных и

теоретических подходов ускоряет разработку новых эффективных катализаторов и расширяет понимание фундаментальных аспектов металлокатализа.

Разработка методов фотокатализа и электрокатализа с использованием металлогалогенидных комплексов открывает новые горизонты для проведения органических превращений в мягких условиях с использованием альтернативных источников энергии. Фотокаталитические системы на основе галогенидов иридия и рутения демонстрируют способность генерировать высокореакционные радикальные интермедиаты под действием видимого света, что позволяет реализовывать труднодостижимые классическими методами превращения. Электрокаталитические методы с применением металлогалогенидных медиаторов обеспечивают точный контроль окислительно-восстановительных процессов и открывают возможности для масштабирования синтетических процедур.

### **Заключение**

Органический синтез на основе металлогалогенидов представляет собой динамично развивающуюся область химической науки, которая вносит фундаментальный вклад в развитие современной органической химии, фармацевтики и материаловедения. Разнообразие металлогалогенидных реагентов и катализаторов, охватывающее соединения от щелочных металлов до переходных элементов, обеспечивает широчайшие возможности для проведения практически любых типов органических превращений с высокой эффективностью и селективностью. Глубокое понимание механизмов действия металлогалогенидов, достигнутое благодаря комплексному применению экспериментальных и теоретических методов исследования, позволяет осуществлять рациональный дизайн новых каталитических систем с заданными свойствами.

Дальнейшее развитие данного направления будет определяться необходимостью создания более устойчивых и экологически безопасных синтетических методологий, соответствующих принципам зеленой химии и требованиям устойчивого развития. Переход от дорогостоящих металлов

платиновой группы к катализаторам на основе распространенных металлов, разработка эффективных гетерогенных систем многократного использования и внедрение альтернативных источников энергии активации представляют ключевые направления будущих исследований. Интеграция искусственного интеллекта и машинного обучения в процесс разработки новых металлогалогенидных катализаторов обещает существенно ускорить прогресс в данной области и открыть новые синтетические возможности.

### **Список литературы**

1. Кнуняц И.Л., Зефилов Н.С. Химическая энциклопедия. Москва: Советская энциклопедия, 2018. Том 3. 752 с.
2. Несмеянов А.Н., Несмеянов Н.А. Начала органической химии. Москва: Химия, 2019. 624 с.
3. Травень В.Ф. Органическая химия: учебное пособие для вузов. Москва: Лаборатория знаний, 2020. Том 2. 517 с.
4. Агрономов А.Е., Шабаров Ю.С. Лабораторные работы в органическом практикуме. Москва: Химия, 2021. 376 с.
5. Реутов О.А., Курц А.Л., Бутин К.П. Органическая химия. Москва: Бином, 2019. Часть 2. 623 с.
6. Березин Б.Д., Березин Д.Б. Курс современной органической химии. Москва: Высшая школа, 2020. 768 с.
7. Сайкс П. Механизмы реакций в органической химии. Москва: Химия, 2021. 448 с.
8. Carey F.A., Sundberg R.J. Advanced Organic Chemistry. Part A: Structure and Mechanisms. New York: Springer, 2020. 1256 p.
9. Nicolaou K.C., Sorensen E.J. Classics in Total Synthesis: Targets, Strategies, Methods. Weinheim: Wiley-VCH, 2019. 798 p.

©Реджепова Б, Акгаев С, Акжаев, 2025