



**НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ СЕРИИ**  
**(создан приказом ректора МГУ им. М.В. Ломоносова**  
**№ 698 от 25 сентября 2007 г.)**

*Председатель совета:* **Садовничий В.А.**, академик РАН, ректор МГУ имени М.В. Ломоносова

*Зам. Председателя совета:* **Салецкий А.М.**, профессор, директор дирекции инновационных проектов 2006–2007 гг. МГУ имени М.В. Ломоносова

*Члены совета:*

*Антипенко Э.Е.*, профессор, проректор МГУ;

*Вржещ П.В.*, профессор, проректор МГУ;

*Семин Н.В.*, проректор МГУ;

*Зинченко Ю.П.*, профессор, декан факультета психологии МГУ;

*Касимов Н.С.*, чл.-корр. РАН, декан географического факультета МГУ;

*Кирпичников М.П.*, академик РАН, декан биологического факультета МГУ;

*Колесов В.П.*, профессор, декан экономического факультета МГУ;

*Лунин В.В.*, академик РАН, декан химического факультета МГУ;

*Мионов В.В.*, профессор, проректор МГУ;

*Михалев А.В.*, профессор, проректор МГУ;

*Моисеев Е.И.*, академик РАН, декан факультета вычислительной математики и кибернетики МГУ;

*Пуцаровский Д.Ю.*, чл.-корр. РАН, декан геологического факультета МГУ;

*Ткачук В.А.*, академик РАМН, декан факультета фундаментальной медицины МГУ;

*Третьяков Ю.Д.*, академик РАН, декан факультета наук о материалах МГУ;

*Трухин В.И.*, профессор, декан физического факультета МГУ.

Московский государственный университет  
имени М.В. Ломоносова

Серия «Инновационный Университет»

**В.В. Лунин, Е.С. Локтева, Е.В. Голубина**

**Инновационные образовательные  
программы в области химии**

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
«ХИМИЯ В ИНТЕРЕСАХ  
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ –  
ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ»**



Издательство Московского университета

2007

УДК 378.1; 54: 372,8  
ББК 74.58; 24  
И66

Серия «Инновационный Университет»

**И66 Инновационные образовательные программы в области химии. Научно-образовательный центр. «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» / В.В. Лунин, Е.С. Локтева, Е.В. Голубина. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 117 с.**

ISBN 978-5-211-05546-9

Аналитический обзор выполнен в рамках реализации национального проекта «Формирование системы инновационного образования в МГУ им. М.В.Ломоносова» (2006–2007 гг.).

В книге приведены материалы по зеленой химии, подготовленные сотрудниками Научно-образовательного центра МГУ «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» за время выполнения Инновационного гранта МГУ (2006–2007) – статьи для журналов, предисловия к выпущенным книгам, аннотация магистерской программы «Химия в интересах устойчивого развития». Книга формирует начальные представления о роли химии в осуществлении устойчивого развития. Книга предназначена для студентов, аспирантов, преподавателей школ, вузов и ссузов, для всех, интересующихся зеленой химией и проблемами образования для устойчивого развития.

*Серия издается по решению Редакционного совета  
Издательства Московского университета*

ISBN 978-5-211-05546-9 © Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2007

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	7
<i>Лунин В.В., Локтева Е.С.</i> Учебно-научный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» .....	9
<i>Локтева Е.С.</i> Зеленая химия. Статья из Новой Российской Энциклопедии.....	16
<i>Локтева Е.С., Лунин В.В.</i> Прогресс науки и роль «зеленой химии» в современном мире. Лекция для учителей средней школы .....	18
<i>Голубина Е.В.</i> Зеленая химия: почему нужно следовать ее принципам.....	31
<i>Лунин В.В., Локтева Е.С.</i> «Зеленая» химия в России. Предисловие составителей к книге «Зеленая» химия в России....	40
<i>Лунин В.В., Локтева Е.С.</i> Предисловие редакторов русского перевода книги Ф. Зеккини «Глобальные изменения климата» .....	51
<i>Локтева Е., Кениг Буркхард.</i> Новый органический практикум – подход к органической химии с точки зрения зеленой химии .....	57
<i>Лунин В.В., Локтева Е.С.</i> Международный симпозиум «Зеленая химия, устойчивое развитие и социальная ответственность химиков» .....	62
Образовательная магистерская программа «Химия в интересах устойчивого развития» .....	66
Об авторах этой книги .....	117



## ПРЕДИСЛОВИЕ

Приказом Ректора № 508 от 30 июня 2006 года в МГУ имени М.В. Ломоносова был создан Научно-Образовательный центр «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия». Создание центра – одно из первых мероприятий, которое осуществилось в ходе выполнения Инновационного проекта МГУ «Формирование системы инновационного образования в МГУ имени М.В. Ломоносова» в рамках Национального проекта «Образование». Центр активно начал свою деятельность, направленную на образование и просвещение в области зеленой химии, или химии в интересах устойчивого развития. За прошедшие два года сделано многое: создана и утверждена программа подготовки магистров по направлению «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия»; создан и функционирует, наполняется материалами Интернет-сайт центра [www.greenchemistry.ru](http://www.greenchemistry.ru); осуществлен перевод и проведены подготовительные мероприятия по публикации в сети Интернет-пособия «Новый органический практикум», основанного на идеях устойчивого развития; проводится научная работа в области катализа, «зеленых растворителей», химии атмосферы и пр.; ведется огромная просветительская работа среди химиков, преподавателей высшей и средней школы, студентов и школьников; написаны и опубликованы в периодической и специальной печати статьи, популяризирующие идеи зеленой химии; проведены семинары и конференции соответствующей направленности; организованы лекции ведущих отечественных и иностранных специалистов по данной проблеме; повышение квалификации в различных областях, связанных с зеленой химией, прошли в отечественных и зарубежных организациях многие сотрудники центра.

Образовательная и просветительская работа в области химии и устойчивого развития показывает громадный дефицит научной и популярной литературы. Данная книга может отчасти ликвидировать этот существенный пробел.

В книге представлены некоторые результаты работы центра, которые могут представлять общественный интерес. Это в первую очередь статья «Учебно-научный центр Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Химия в

интересах устойчивого развития – зеленая химия»», в которой описаны задачи и результаты деятельности центра за истекшие полтора года; статья для Новой Российской энциклопедии; вводная лекция, входящая в курс, который регулярно читается сотрудниками центра учителям города Москвы и центральных областей России; предисловия к изданным при поддержке проекта книгам; статья, написанная на основе доклада, сделанного на образовательной секции XVIII Менделеевского съезда по общей и прикладной химии (сентябрь 2007 г.), и посвященная описанию «Нового органического практикума»; магистерская программа «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия»; а также ответы на наиболее часто задаваемые вопросы о зеленой химии.

Авторы надеются, что книга будет интересной для широкого круга читателей, в первую очередь для вузовских и школьных преподавателей, а также студентов и школьников, и всех, заинтересованных в устойчивом развитии цивилизации на планете Земля.

## **«ХИМИЯ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ – ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ»**

В 2002 году Генеральная Ассамблея ООН своей резолюцией №57/254 постановила объявить 2005–2014 годы десятилетием образования устойчивого развития. Термин «Устойчивое развитие» определяют по-разному. Наиболее часто приводят определение, которое дала Комиссия Брунтланд в докладе «Наше общее будущее» в 1987 году: «это такое развитие, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но не ставит под угрозу способности будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». В этой фразе сфокусированы цели устойчивого развития. Позже организация UNISEF подробнее описала задачи устойчивого развития. В частности, было отмечено, что необходимо изыскивать новые возможности для внедрения этой концепции в содержание национальных реформ образования, а также выйти за рамки образования в области окружающей среды, постепенно преобразовав его в образование в интересах устойчивого развития.

Сейчас в России образование в интересах устойчивого развития развивают в основном энтузиасты, это касается и организаций, и отдельных личностей. Однако все понимают, что только государственная поддержка, только государственная стратегия позволят добиться серьезных успехов в этом деле. Поэтому в МГУ усилиями представителей химического, географического, экономического, юридического и других факультетов начата подготовка Национальной стратегии в области образования в интересах устойчивого развития.

Выйти за рамки экологического образования – вторая цель, намеченная UNISEF, причем это означает не только развитие социально-экономического образования. В области химии также в последние годы развивается новый подход, который называют химией в интересах устойчивого развития, или зеленой химией.

Химия окружающей среды изучает источники, распространение, устойчивость и воздействие химических загрязнителей; в отличие от нее, зеленая химия обеспечивает химические решения для того, чтобы избавиться от загрязнений. Обучение этому подходу позволит перейти от утилизации отходов к налаживанию такого производства химических продуктов, при котором количество отходов будет сведено к минимуму, сами продукты будут безопасны с точки зрения экологии и здоровья человека, и будут легко разлагаться в природе после применения.

В материалах ООН подчеркивается, что совершенствование методов обучения становится первоочередной задачей для осуществления устойчивого развития. Это касается всех уровней образования, начиная от школьного, вузовского, послевузовского, и заканчивая повышением квалификации, обучением на рабочих местах, а также просвещением широких кругов общественности. Такие широкие задачи трудно осуществить в рамках образовательной деятельности химического факультета МГУ.

Для осуществления этой деятельности в области зеленой химии в 2006 году в МГУ имени М.В.Ломоносова был создан Научно-Образовательный центр «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия». На рис. 1 показана эмблема центра. Создание такого центра было предусмотрено планом работы по Инновационному проекту МГУ «Инновационные образовательные программы в области химии», который осуществляется в соответствии с Национальным проектом «Образование». Возглавил центр Декан химического факультета МГУ, академик РАН, профессор В.В. Лунин. Центр уже начал проводить образовательную и научную деятельность. Создана и утверждена магистерская программа «Химия в интересах устойчивого развития». Программа получила одобрение на Пленуме Совета по химии УМО по классическому университетскому образованию. Магистерская программа позволит готовить кадры людей, основной задачей которых будет разработка методических принципов, оценка международного опыта и внедрение идей зеленой химии на всех стадиях преподавания химии.

Пока такие специалисты еще в проекте, сотрудники центра занимаются инвентаризацией курсов, которые читаются на Химическом факультете МГУ, для того, чтобы выделить те курсы и

подходы, которые соответствуют идеям и задачам химии в интересах устойчивого развития. Уровень преподавания на химическом факультете высокий, поэтому, конечно, идеи зеленой химии находят свое отражение в преподавании уже сейчас. Например, проф. Л.М. Кустов читает студентам спецкурс «Зеленая химия»; широко и на разных кафедрах представлены в образовании каталитические методы осуществления химических реакций, использование «зеленых» растворителей (главным зеленым растворителем является вода), энергосбережение при осуществлении химических процессов и другие темы, которые традиционно входят в область ответственности зеленой химии.

Важным направлением деятельности является обучение школьных учителей идеям устойчивого развития и зеленой химии. Специалисты центра (В.В. Лунин, Е.С. Локтева) читают лекции методистам и учителям средних школ Москвы и центральных областей России. Центр готов оказывать разнообразную методическую помощь учителям средних школ, колледжей и лицеев. На встречах учителя нередко отмечали дефицит литературы по проблемам устойчивого развития и химии в интересах устойчивого развития, написанной на русском языке. Чтобы ликвидировать этот пробел, в 2005 году была издана и бесплатно распространена по университетским библиотекам России книга – сборник статей «Зеленая химия в России». В 2007 году начата работа по подготовке новой книги, которую планируется сделать в виде сборника обзорных статей по тематике, связанной с зеленой химией. Эту книгу можно будет использовать как учебное пособие в вузах.

Летом 2006 года начал свою работу Интернет-сайт Научно-образовательного центра [www.greenchemistry.ru](http://www.greenchemistry.ru) (рис. 4), который пока существует только на русском языке. На нем можно найти ссылки на другие сайты и литературу по данной проблеме, информацию о прошедших и планируемых событиях. В течение 2007 года по договоренности с немецкими коллегами осуществлен перевод Интернет-пособия «Новый органический практикум» на русский язык (уже сейчас можно бесплатно использовать немецкую, итальянскую и английскую версии, адрес последней [www.oc-praktikum.de/en](http://www.oc-praktikum.de/en)). Это чрезвычайно интересное и важное пособие создали немецкие химики (авторский коллектив под ру-

ководством Б. Кенига). В нем наглядно описаны задачи, выполняемые в практикуме по органической химии, шаг за шагом наглядно представлен процесс сборки приборов для синтеза, приведены результаты анализа продуктов и побочных веществ самыми современными методами. Кроме затрат материалов, в практикуме оцениваются и затраты энергии на проведение химических синтезов, и способы снижения этих затрат (рис. 5 и 6). Описано применение возобновляемых ресурсов в органическом синтезе. Очень важно, что авторы систематически проводят анализ токсичности исходных веществ и продуктов лабораторных синтезов, называют и описывают способы регенерации и утилизации целевых и побочных продуктов синтеза, а также вспомогательных веществ (растворители и др.). Приведены фотографии самого современного оборудования. Используя эти данные, даже небогатый университет сможет вести учебный процесс с использованием самых современных методик синтеза и анализа. Этот ресурс также будет предоставлен в бесплатное пользование на сайте Научно-образовательного центра.

Научно-образовательный центр «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» проводит большую научно-исследовательскую работу, в первую очередь в области катализа. Известно, что катализ относится к ключевым направлениям зеленой химии, поскольку позволяет проводить реакции с большой атомной эффективностью и снижать затраты энергии и материалов, включая вспомогательные. В центре разработаны новые высокоэффективные катализаторы утилизации хлорсодержащих экотоксикантов. Ведутся работы по применению в химии возобновляемых ресурсов, таких, как лигнин, шелуха подсолнечника, солома и др. Показано, что на их основе можно получать широкий спектр разнообразных востребованных промышленностью продуктов. Интересные исследования проводятся в области применения сверхкритических растворителей (например, воды) для синтеза новых материалов, катализаторов и др. Большая работа по исследованию состава, строения, химических свойств и направлений применения гуминовых веществ проводится в группе д.х.н. Перминовой И.В. (<http://www.mgumus.chem.msu.ru>)

Благодаря инновационному проекту МГУ имени М.В. Ломоносова, удалось существенно обновить парк приборов Научно-

образовательного центра. Так, в 2006 году закуплен Хромато-масс-спектрометр TRACE DSQ II с возможностью прямого ввода проб в масс-спектрометр (рис. 7); новый газовый хроматограф Agilent 6890N; новый озонометр; Рентгеновский автоматический порошковый дифрактометр для порошковых, полимерных и жидкостных образцов (рис. 8). В центре уже функционируют современные приборы – дифференциально-термические анализаторы фирмы Netzch, ИК и ЭПР спектрометры фирмы Bruker, каталитические установки для проведения жидкофазных и парофазных каталитических реакций, проточная установка для синтеза катализаторов в сверхкритической воде и многое другое.

НОЦ «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» ведет активную деятельность по повышению квалификации химиков. В октябре этого года круглый стол по проблемам зеленой химии был организован в рамках школы-конференции «Актуальные проблемы нефтехимии», в которой приняли участие около 100 молодых нефтехимиков со всей России. Молодые ученые химического факультета повысили квалификацию на школе молодых ученых «Новые органические реакции и методологии зеленой химии» в Лечче, Италия, в октябре 2006 года. Представители центра выступили с научными докладами на 1-й конференции ИЮПАК по зеленой химии в Дрездене, на 1-й международной конференции «Зеленая промышленность» в Манаме, Бахрейн, на международной конференции «Химия атмосферы в межслоевых пространствах». В ходе выполнения инновационного проекта повышение квалификации в работе с приборами, которыми оборудован Научно-образовательный центр, прошли сотрудники и аспиранты Химического факультета на фирмах Нетч, Авантис, в университетах и исследовательских центрах Австрии, Франции, Петербурга, Германии, США и других. В 2007 году при участии центра состоялись Симпозиум-Школа «ХИМИЯ, ЧЕЛОВЕК И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА» (март 2007, Москва), IV Международная научно-практическая конференция «СВЕРХКРИТИЧЕСКИЕ ФЛЮИДЫ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ, ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ» (сентябрь 2007, Казань), Международный симпозиум «Зеленая химия, устойчивое развитие и социальная ответственность химиков» в рамках 18-го Менделеевского съезда (сентябрь 2007, Москва); научная конференция и школа

молодых ученых «Глубокая переработка твердого ископаемого топлива – стратегия России в 21 веке» (ноябрь 2007, Звенигород) и другие важные мероприятия.

Еще одна важнейшая задача, поставленная UNISEF, – это задача объединения усилий. Понятно, что ни одна отдельная организация, даже и международная, не в силах сделать так, чтобы устойчивое развитие стало термином, знакомым каждому, а цели устойчивого развития – целями государств, народов и каждого отдельного жителя Земли. В области химии объединение усилий различных образовательных и научных учреждений уже идет. Так, в РХТУ им. Д.И. Менделеева создан Институт проблем химии и устойчивого развития, которым руководит чл.-корр. РАН, профессор Н.П. Тарасова. В РХТУ также разрабатывается магистерская программа по химии в интересах устойчивого развития; достигнуто соглашение о взаимной аккредитации программ. Это особенно важно потому, что РХТУ – это университет технологической направленности, а МГУ известен своей высокой научной репутацией. Взаимопомощь позволит усилить технологическую подготовку магистров в МГУ и науку – в РХТУ.

При участии российских ученых в конце 2005 года в Венеции (Италия) состоялось учредительное собрание международной организации «Международная Зеленая Ассоциация» (International Green Network). Основная цель этой организации – содействовать международному сотрудничеству в научной и образовательной сфере по тематике зеленой химии. Возглавил Международную зеленую ассоциацию Президент Итальянского межуниверситетского консорциума «Химия в интересах окружающей среды» профессор Пьетро Тундо, который был один из идеологов и инициаторов данного движения. В работе Международной зеленой ассоциации принимают участие представители России, США, Канады, Франции, Германии, Японии, Италии, Индии, Египта, Аргентины, Китая и многих других стран. В России ответственным за работу этой сети является В.В. Лунин.

Большое внимание развитию зеленой химии уделяет Международный союз по чистой и прикладной химии – ИЮПАК. В сентябре 2006 г. в Дрездене, Германия, состоялась 1-я конференция ИЮПАК по зеленой химии – химии в интересах устойчивого развития. Она привлекла более 450 участников со всего мира.

В 2008 году на базе центра планируется проведение 2-й международной конференции по зеленой химии. Открытие конференции и пленарные лекции пройдут в здании Интеллектуального центра – фундаментальной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова, а затем участники на корабле «Михаил Калинин» поедут по маршруту Москва – Санкт-Петербург. Заседания конференции будут чередоваться с рабочими встречами, круглыми столами, а на стоянках пройдут экскурсии по древним монастырям, городам севера России.

Приведенные материалы показывают, что Научно-образовательный центр «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» проводит большую и разнообразную работу в области зеленой химии, включающую научные исследования, образовательную и просветительскую деятельность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press. 1987, 400 P.
2. The United Nations Programme of Action from Rio (1993) *Agenda 21, Earth Summit*, United Nations Publisher 1993, P. 294.
3. R.A. SHELDON // Chem. Ind., 1997, P. 12.
4. P.T. ANASTAS, J.C. WARNER, «Green Chemistry: Theory and Practice», Oxford, 1998, 148 p.
5. R.A. SHELDON // Pure Appl. Chem. 2000. V.72. P. 1233.

## **ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ. СТАТЬЯ ИЗ НОВОЙ РОССИЙСКОЙ ЭНЦИКЛОПЕДИИ**

Зеленая химия (з.х.), или химия в интересах устойчивого развития – это новый подход к химии. Концепция устойчивого развития принята мировым сообществом в ряде документов<sup>1-2</sup>. ООН объявила 2005–2014 годы десятилетием устойчивого развития<sup>3</sup>. Устойчивое развитие удовлетворяет нужды нынешнего поколения и не ставит под угрозу возможности будущих поколений удовлетворять собственные потребности. Ключевую роль в устойчивом развитии играет з.х. Этот подход подразумевает переход от простой утилизации загрязнений к конструированию новых химических процессов, позволяющих снизить экологическую нагрузку на всех стадиях, от производства энергии до утилизации отходов. При выборе между несколькими целевыми продуктами с необходимыми свойствами важным критерием является максимальная их безопасность для человека и окружающей среды. Анастас и Уорнер<sup>4</sup> сформулировали 12 принципов з.х., которые кратко выражают ее суть. Эти принципы включают предотвращение выброса загрязнений как альтернативу утилизации отходов; предотвращение аварий; использование в качестве исходных и конечных продуктов веществ с минимальной токсичностью; сокращение числа стадий процесса и отказ от вспомогательных веществ (экстрагентов, растворителей и др.) или использование безвредных; минимизацию экономических и экологических затрат при производстве необходимой для проведения химического процесса энергии; снижение энергетических затрат, что достигается проведением процессов при условиях окружающей среды (температура, давление); замену стехиометрических реакций каталитическими; применение возобновляемого сырья и выбор в качестве целевых биоразлагаемых продуктов; а также мониторинг продуктов реакции в режиме реального времени. Суммируя, можно сказать, что зеленая химия эффективно использует преимущественно возобновляемое сырье и энергию, не дает загрязнений и не использует токсичные и/или опасные реа-

генты и растворители при производстве и применении химических продуктов.

Количественные параметры, позволяющие оценить степень «зелености» процесса, ввел Р. Шелдон<sup>5</sup>. Это Е-фактор (отношение массы всех побочных продуктов реакции или процесса к массе целевого продукта) и атомная эффективность (отношение молярной массы целевого продукта к сумме молярных масс всех остальных продуктов в стехиометрическом уравнении). Чем меньше Е-фактор, и чем ближе атомная эффективность к 100%, тем более «зелеными» являются реакция или процесс.

В настоящее время Е-фактор в нефтехимических процессах составляет 0,1, в производстве основных химических продуктов 1–5, в тонком органическом синтезе 5–50, в производстве лекарств 25–100. Замена стехиометрических процессов каталитическими и использование «зеленых» растворителей – главные направления снижения Е-фактора в многостадийных процессах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Our Common Future (1987), Oxford: Oxford University Press.
2. Agenda 21: Earth Summit – The United Nations Programme of Action from Rio, 1993, 294 p.;  
<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>
3. Резолюция Генеральной Ассамблеи ООН № 57/254
4. P.T. Anastas, J.C. Warner, Eds., «Green Chemistry: Theory and Practice», Oxford University Press, 1998.
5. R.A. Sheldon, Chem.Ind. (London), 1992, 903 and 1997, 12; R.A. Sheldon, Pure Appl. Chem., 2000, 72, 1233.

## **ПРОГРЕСС НАУКИ И РОЛЬ «ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ» В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ**

Лекция для учителей средней школы

Не секрет, что в обществе существует отрицательное отношение к химии, как отрасли промышленности, дающей высокий вклад в загрязнение окружающей среды, и представляющей повышенную опасность. Недавние примеры – это, например, авария в Китае, которая привела к угрозе заражения Амура бензолом и нитробензолами; пожар на нефтехранилище в Великобритании. В то же время человечество уже не может отказаться от использования химических продуктов. Снизить или вовсе предотвратить угрозы, связанные с химическим производством, позволяет подход к химии с экологической точки зрения.

Приведенный пример с аварией в Китае показывает, что загрязнение окружающей страны не признает государственных границ. Можно добавить, что Норильский никелевый комбинат и металлургический комбинат на Кольском полуострове экспортируют свои выбросы в Европу. В то же время доминирующими ветрами в Россию переносятся оксиды азота и серы из Украины, Германии, Польши, Белоруссии, Чехии, Словакии, Финляндии и даже Великобритании.

Попытаемся выделить объект зеленой химии. Можно сказать, что **Химия окружающей среды** изучает источники, распространение, устойчивость и воздействие химических загрязнителей; **Химия для окружающей среды** обеспечивает химические решения для того, чтобы избавиться от загрязнений. При этом существует

### **Три возможных пути химических решений:**

1. Уничтожить загрязнители, поступившие в окружающую среду
2. Ограничивать их распространение, если они локальные
3. **Прекратить их производство (путем замены существующих способов получения химических продуктов на новые).**

Третье направление и представляет собой ту область, которой занимается зеленая химия.

Что такое «Зеленая химия»? В известной книге Анастаса и Уорнера дается такое определение: это любое усовершенствование химических процессов, которое положительно влияет на окружающую среду. Другое определение дано профессором университета Королевы в Белфасте Кеном Седдоном: **«Зеленая химия – это разработка химических продуктов и процессов, которая снижает или исключает использование и/или производство опасных веществ»**. Можно сказать и так, как написал Пол Анастас: «Зеленая химия – это просто хорошая химия. Лучшие химики мира занимаются зеленой химией».

Один из выпускников Химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова после распределения в научный институт рассказывал, что первое его самостоятельное задание было придумать и осуществить некий синтез органического вещества, требующий не менее 20 стадий; причем желательно, чтобы каждая происходила в воде при комнатной температуре и давлении, а нужное вещество получалось со 100%-ным выходом и выпадало в осадок. Вот это задание и есть образцовый пример зеленой химии.

В своей книге Анастас и Уорнер сформулировали 12 принципов зеленой химии. Вот эти принципы:

1. Лучше предотвратить выброс загрязнений, чем потом от них избавляться.

2. Синтез следует планировать так, чтобы максимальное количество использованных материалов вошли в конечный продукт.

3. Следует планировать методы синтеза так, чтобы реагенты и конечными продуктами служили вещества, которые малотоксичны или вовсе нетоксичны для человека и природы.

4. Среди целевых химических продуктов следует выбирать такие, которые наряду с требуемыми свойствами обладают максимально низкой токсичностью.

5. Необходимо по возможности избегать использования в синтезе вспомогательных веществ (растворителей, экстрагентов и др.) или выбирать безвредные.

6. При планировании синтеза нужно учитывать экономические и экологические последствия производства энергии, необхо-

димой для проведения химического процесса, и стремиться к их минимизации. Следует стремиться проводить синтез при температуре окружающей среды и нормальном давлении.

7. Следует использовать возобновляемое сырье там, где это технически и экономически обосновано.

8. Необходимо сокращать число стадий процесса (для этого избегать при синтезе стадий блокирования групп, введения-снятия защиты, временной модификации физико-химических процессов).

9. Каталитические реагенты (по возможности максимально селективные) предпочтительны по сравнению со стехиометрическими.

10. Химические продукты желательно применять такие, чтобы по окончании нужды в них они не сохранялись в окружающей среде, а разлагались до безопасных веществ.

11. Аналитические методики следует развивать так, чтобы в режиме реального времени обеспечивать мониторинг образования продуктов реакции, среди которых могут оказаться опасные.

12. Вещества, используемые в химических процессах, следует выбирать так, чтобы свести к минимуму возможные аварии, включая разливы, взрывы и пожары.

Работа по принципам зеленой химии требует от ученого определенных усилий и большой ответственности. Многие приходится делать не совсем так, как это привычно. Приходится задумываться о вещах, которые раньше в голову не приходили. Однако другого пути нет. Здесь можно сформулировать 13-й принцип Зеленой химии: Если вы делаете все так, как привыкли, то и получите то, что обычно получаете.

Чтобы глубже познакомиться с предметом зеленой химии и основными направлениями исследований, можно проанализировать некоторые принципы зеленой химии.

Согласно принципу 3, нетоксичными должны быть как исходные вещества, так и продукты, получаемые по химическим реакциям, пригодным для промышленности. Встает вопрос, а какие вещества считать нетоксичными. В бытовом смысле опасность предмета определяется обычно его функцией. Нож острый, потому что его используют, чтобы резать, и существует опас-

ность порезать палец. Печь горячая, поскольку ее используют для приготовления пищи, но существует опасность обжечься. Совсем не так обстоит дело в химии. Допустим, нам нужно получить красный краситель. Для химика-органика задача не особенно трудная. Нужно синтезировать плоскую ароматическую структуру с системой сопряженных кратных связей, которая бы содержала электронодонорную группу на одном конце молекулы, и электроноакцепторную группу на другом. Тогда такая молекула станет поглощать свет длиной волны 500-600 нм, поэтому вещество будет красным. Синтезируем вещество, внедряем в промышленное производство, начинаем применять – и обнаруживаем, что оно, например, канцерогенно. Причем канцерогенность никак не связана с красным цветом данного вещества. Это частая ошибка традиционной химии, когда вещество, которое довольно легко получить, быстро получало промышленное применение, а его токсичность выяснялась позже. Примеры всем известны. Лекарство от головной боли талидамид, которое в начале 60-х годов прошлого века широко использовали в медицине, как выяснилось позже, вызывает серьезные пороки внутриутробного развития детей. Активно применявшийся для борьбы с комарами препарат ДДТ, который действительно помог ликвидировать огромные очаги малярии в мире, оказался не только опасным для здоровья, но и крайне устойчивым к биоразложению. Наконец, наркотик героин также появился в начале 20 века как патентованное лекарство от кашля.

Можно разделить опасные вещества и загрязнители. Первые безусловно опасны, поскольку имеют определенные химические – они едкие, раздражающие, ядовитые. Загрязнители опасны в более отдаленном плане. Эта опасность обнаруживается уже после того, как вещество всюду используется.

Внедрение нового подхода к химии – принципов зеленой химии – требует, чтобы химик заранее, до синтеза в лаборатории, уже предвидел не только требуемые химические свойства вещества (красный цвет), но и его потенциал как опасного вещества или загрязнителя. Конечно, требуется изменение системы обучения химиков: например, практически нигде обычных химиков не учат токсикологии, экотоксикологии. А ведь без таких знаний невозможно предвидеть, какие наборы структурных элементов потенциально опасны.

Кроме того, одним из направлений является использование выделенных из природных объектов химических веществ. Некоторые из них могут быть опасными, но никакие не являются загрязнителями, поскольку они уже существуют в природе.

Обратимся ко 2 принципу зеленой химии – атомная эффективность. Безусловно, чтобы оценить степень экологичности той или иной реакции, требуются численные критерии. Как оценить влияние данного процесса на экологию? Известный ученый Роджер Шелдон придумал два критерия оценки. Первый называется Е-фактор, второй – атомная эффективность. Здесь следует заметить, что, например, в Великобритании атомная эффективность и Е-фактор признаны, в числе прочего, на государственном уровне для оценки новых промышленных процессов.

*Таблица*

#### **Величины Е-фактора для различных типов химических процессов**

Е-фактор	Химическая продукция
0,1	Нефтехимические продукты
1–5	Продукция основного органического и неорганического синтеза
5–50	Продукция тонкого органического синтеза (парфюмерия и др.)
25–100 и более	Лекарства

Е фактор – это отношение массы всех получившихся в реакции побочных продуктов к массе целевого продукта. Естественно, что чем больше Е-фактор, тем менее «зеленой» является реакция или процесс. В таблице приведены средние показатели Е-фактора для нефтехимических процессов, процессов основной химии и в производстве лекарств. Как вы видите, особенно грязными являются процессы тонкого органического синтеза. Это не удивительно. Вспомните пример с 20-стадийным синтезом. Как правило, большинство стадий процессов тонкого органического синтеза все же проводится в органических растворителях, а выходы не так высоки, как хотелось бы. Современные лекарства – это не просто сложные химические вещества, часто это особо чистые изомеры (структурные, оптические и др.), в их синтезе и выделении используется огромное количество дополнительных

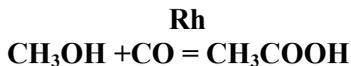
химических веществ, таких как растворители, экстрагенты, и др. К тому же, в тонком органическом синтезе редко используют каталитические реакции. Кстати, сам Шелдон, за которым укрепилось прозвище «Мистер Е-фактор» последние 20 лет ведет активные исследования по применению катализа в тонком органическом синтезе.

Атомная эффективность – это другой количественный показатель, введенный Шелдоном. Ее рассчитывают как отношение молярной массы целевого продукта к сумме молярных масс всех остальных продуктов в стехиометрическом уравнении. Чем ближе атомная эффективность к 100%, тем более зеленой является данная реакция. Понятно, что атомная эффективность будет невысокой в тех реакциях, где используют кислоты, щелочи, растворенные металлы, поскольку во всех этих случаях необходима нейтрализация. Это приводит к образованию солей в качестве побочных продуктов. Этим недостатком лишены каталитические процессы. Катализаторы позволяют проводить реакции с высокими селективностями.

Катализ является одним из ключевых направлений зеленой химии, поскольку связан с некоторыми другими принципами зеленой химии. Действительно, опасные вещества, как правило, высоко реакционно-способны. Это делает их удобными реагентами при создании новых химических продуктов. Действительно, ведь для реакций таких веществ не требуется больших температур, давлений, а значит, энергия экономится. А если мы отказываемся от реакционно-способных веществ, а берем за основу менее реакционно-способные, мы увеличиваем энергозатраты, а это противоречит 6-му принципу энергетической эффективности.

Тут можно пойти двумя путями. Наиболее распространенный – использование катализатора, который снижает энергетический барьер реакции. Другое направление – использование локальных источников энергии для активации молекул (фотохимия, микроволновое излучение). Эти способы позволяют снизить затраты энергии.

Разработанные в последнее время каталитические процессы обладают очень высокой атомной эффективностью. Например, окисление метанола до уксусной кислоты на родиевом катализаторе (100%).



### **Атомная эффективность 100% (фирма Монсанто)**

Можно провести сравнение атомной эффективности получения трет-бутиламина из изобутилена традиционным путем и каталитическим. В классическом методе сначала получают  $(\text{CH}_3)_3\text{CNHCNO}$  обработкой изобутилена цианистым водородом, на второй стадии отщеплением муравьиной кислоты получают целевой продукт. Кроме крайне низкой атомной эффективности, традиционный процесс характеризуется использованием очень ядовитой синильной кислоты. Количество отходов возрастает, поскольку процесс идет в две стадии. В то же время в разработанном фирмой BASF одностадийном процессе целевой продукт получают в одну стадию обработкой изобутилена аммиаком в присутствии цеолитного катализатора. Атомная эффективность в этом случае составляет 100%.

Катализ развивается бурными темпами, и об этом можно рассказывать много. В этой статье можно только упомянуть основные направления развития каталитической науки:

1. Катализ наночастицами
2. Цеолиты и мезопористые катализаторы
3. Закрепление гомогенных катализаторов на носителе
4. Предотвращение потерь катализатора
5. Катализ ферментами (ферментами), в том числе закрепленными (гетерогенизированными)

Так, чрезвычайно разнообразны использования биокатализаторов – ферментов. Это и кормовые добавки, и процессы пищевой промышленности (гидролиз некрахмальных полисахаридов, уменьшение вязкости растворов, увеличение выхода целевого продукта), в том числе производство пива, спирта, белковых гидролизатов: бета-глюканызы, целлюлазы, протеазы, амилазы, кератиназы; процессы текстильной (изменение свойств поверхности текстильных изделий), в том числе изготовление джинсовых изделий (удаление индиго), биополировка, удаление ворса, предотвращение пиллинга, облагораживание шерсти; процессы целлюлозно-бумажной промышленности (биоотбеливание пульпы, удаление тонеров и чернил при вторичной переработке бумаги/макулатуры; Производство моющих средств

(разрушение загрязнений, придание свежести тканям, предотвращение пиллинга).

Среди пока нерешенных проблем в катализе – проблема активации атмосферного азота и кислорода. Как известно, растения способны усваивать азот из атмосферы. Если бы это удалось сделать доступным каталитическим путем, многие химические проблемы были бы решены. Например, процесс получения азотной кислоты протекает в четыре стадии. Атомная эффективность этого ключевого для химической промышленности процесса очень низкая. И как эффективно бы он протекал с участием атмосферного азота при наличии подходящего катализатора.

Нобелевская премия 2007 года в области химии была присуждена ученому из Германии, почетному профессору Факультета Физической Химии Института Фрица-Габера (Берлин) Герхарду Эртлу (Gerhard Ertl) «за новаторские исследования в области химии поверхности» (рис. 2). Подходы, разработанные Эртлом, базируются на результатах, полученных им при изучении процесса Боша-Габера, используемого при фиксации атмосферного азота:  $3\text{H}_2 + \text{N}_2 = 2\text{NH}_3$ . Эртл также изучал процесс окисления монооксида углерода на поверхности платины, реакции, используемой для каталитической очистки автомобильных выхлопов. Разработанные Эртлом подходы к анализу поверхности широко используются в катализе.

Еще одно ключевое направление развития зеленой химии – это использование возобновляемого сырья в качестве источника углерода в химической промышленности. Сейчас основным источником являются ископаемые топлива – нефть, газ, уголь. При этом мы истощаем ресурсы Земли. Это уже привело к тому, что стоимость углеводородов очень сильно выросла. Добыча все больше смещается в труднодоступные районы – север, арктический шельф, море и др. Но вторая опасность – возрастающий парниковый эффект, изменения климата Земли. Мы достаем из хранилищ углерод и превращаем его в  $\text{CO}_2$ , и таким образом усиливаем парниковый эффект.

Обоих недостатков лишено производство химических продуктов из растительного сырья. Это возобновляемый ресурс, или даже отходы (сельского хозяйства, бытовой мусор). И, кроме то-

го, сколько  $\text{CO}_2$  усвоено растениями, образующими биомассу, столько его и может выделиться при использовании соответствующих химических продуктов, то есть дополнительного поступления  $\text{CO}_2$  в атмосферу не происходит.

На основе растительного сырья можно получить богатую гамму продуктов.

Самый простой и всем знакомый пример – это спирт из зерна. Этот процесс дешевле, чем производство этилового спирта окислением этилена, последний процесс практически нигде в мире не используется. Стоимость зернового спирта примерно 300 долларов за тонну. Если он благодаря усовершенствованию процесса подешевеет в два раза, он станет выгодным сырьем для производства этилена и полиэтиленов. Такая схема позволяет совершенно отказаться от использования нефти в качестве основного сырья для химической промышленности и перейти к возобновляемым источникам сырья.

Важным возобновляемым сырьем являются лигноцеллюлоза и крахмал, получаемые из биомассы растений. Превращение их в сахара открывает путь к ферментативной переработке сахара в органические кислоты (молочную, щавелевую, лимонную и др.), а это путь к огромному числу химических продуктов. Например, дегидратацией молочной кислоты можно получить акриловую, из нее ацетальдегид, этиленгликоль, тетрагидрофуран, пропандиол. Но и сами органические кислоты являются важными продуктами. Например, полилактат – полимер, получаемый на основе молочной кислоты, – это превосходная упаковка для пищевых продуктов, которая за несколько недель разлагается в природе.

Развитые в промышленном отношении страны уделяют большое внимание переработке возобновляемого сырья. Например, в США поставлена задача – через 25 лет перевести на растительное сырье до 25% химической промышленности. Для этих разработок выделяется более 500 млн. долларов в год. У нас в стране сосредоточено около 7% мировых запасов нефти – не так много. В США берегут свою нефть, она является стратегическим запасом. Мы свою нефть тратим и проедаем.

Еще одно ключевое направление зеленой химии связано с принципом 5 – отказом от использования вредных для природы органических растворителей. Сейчас интенсивно разрабатывают-

ся процессы использования в качестве растворителей сверхкритических флюидов, ионных жидкостей, и проведение механохимической активации веществ.

Что такое сверхкритический флюид? Вблизи критической точки на фазовой диаграмме свойства многих веществ кардинально меняются. Например, вода может легко растворять многие неполярные органические вещества. Наиболее известные из сверхкритических жидкостей – это вода, углекислый газ, аммиак, пропан, азот.  $\text{CO}_2$  уже сейчас активно используют в качестве растворителя (у него довольно низкая критическая точка). С его помощью экстрагируют кофеин из кофейных зерен. В Японии он довольно широко используется в прачечных-химчистках вместо хлорсодержащих растворителей. В сверхкритическом  $\text{CO}_2$  можно проводить полимеризацию (он хорошо растворяет, например, фторированные углеводороды); синтез комплексов металлов. В Великобритании уже запущен промышленный процесс селективного гидрирования изофорона в триметилциклогексанон на палладиевом катализаторе производительностью до 1000 тонн в год; в качестве растворителя используется сверхкритический  $\text{CO}_2$ . Недавно описано использование сверхкритических углеводородов для проведения важных нефтехимических процессов. Например, каталитическая изомеризация н-бутана в изо-бутан эффективно протекает в сверхкритическом н-бутане; при этом стабильность работы катализатора и срок службы существенно возрастает, потому что сверхкритический растворитель эффективно очищает поверхность катализатора от образующейся сажи.

Реакции в сверхкритическом  $\text{CO}_2$  можно проводить в автоклавах простого устройства, загружая туда сухой лед и реагенты.  $\text{CO}_2$  сам при испарении создаст нужные условия.

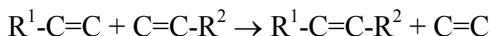
Ионные жидкости – это жидкие при нормальных температуре и давлении соли неорганических и органических кислот с объемными органическими основаниями. Обычно они нелетучи, негорючи, стабильны, обладают хорошими растворяющими свойствами и способны к регенерации. Подбором подходящих катионов и анионов можно регулировать селективность и глубину протекания целевой реакции. В ионных жидкостях проводят алкилирование, дехлорирование, получение биологически активных веществ.

Механохимические способы применяются во многих областях. Приведем пример, связанный также с использованием возобновляемого сырья. В Красноярске с использованием механохимии активируют растительное сырье (кора березы, древесина лиственницы), что позволяет повысить эффективность получения ценных химических продуктов.

Еще одно важнейшее направление зеленой химии связано с разработкой новых промышленных процессов, позволяющих снизить экологические риски при производстве важных химических продуктов. Например, вы знаете, что введение функциональных групп в органические соединения часто проводят в две стадии: сначала замещают водород на хлор или другой галоген, а затем уже галоген замещают на другую функциональную группу. В соответствии с принципом 8, введения галогена следует избегать; все хлорсодержащие отходы вредны для окружающей среды. Альтернативный путь – это так называемые реакции нуклеофильного ароматического замещения водорода. Для того, чтобы облегчить уход гидрид-иона, можно использовать, например, кислород воздуха; или происходит спонтанная ароматизация самого исходного арена. Эти работы проводятся под руководством академиков В.Н. Чарушина и О.Н. Чупахина в Екатеринбурге.

Нобелевская премия по химии в 2005 году была присуждена за работу в области зеленой химии – разработку реакции метатезиса олефинов. Кстати, эту реакцию разрабатывали, начиная с 70-х годов прошлого века, когда самого термина Зеленая химия еще не существовало.

Что такое метатезис? Это реакция, в которой происходит разрыв связи между атомами углерода и некоторая группа атомов занимает другое место в молекуле. В своем пресс-релизе Шведская академия наук уподобляет этот процесс танцу, в котором танцующая пара меняет своих партнеров (рис. 3). Как и в танце, это требует вмешательства третьих лиц, которыми в данном случае являются катализаторы – ускорители реакций. Ив Шовен предложил механизм протекания некоторых реакций метатезиса, Ричард Шрок в те же и последующие годы разработал молибденовые и вольфрамовые катализаторы для этой реакции, а Роберт Граббс – промышленные рутениевые катализаторы.



В настоящее время метатезис широко используется при производстве фармацевтических препаратов и полимеров. Благодаря исследованиям лауреатов Нобелевской премии эти процессы становятся более эффективными, уменьшается количество вредных отходов, не требуется использования высоких температур, давления и опасных для окружающей среды реагентов.

Хотелось бы подчеркнуть, что особенно важным в Зеленом подходе к химии является следующее: зеленая химия тесно связана с химической технологией. То есть при планировании усовершенствований нужно рассматривать не химическую реакцию, а промышленный процесс. Вот пример. Для окисления органических соединений в промышленности используют оксид хрома и перманганат калия. При этом образуются ядовитые отходы – оксиды хрома и марганца. Кажется очевидным, что использование вместо соединений переходных металлов таких окислителей, как перекись водорода, кислород или озон, имеет очевидные преимущества, ведь побочными продуктами в этом случае будут вода и кислород. Однако следует учесть, что производство перекиси водорода и озона – это чрезвычайно затратные по энергии процессы. Например, синтез озона требует постоянной работы в барьерном разряде, причем по термодинамическим причинам выход озона не может превышать 30%. И если учесть энергетические затраты (см. принцип 6 из приведенного выше списка) и связанные с производством энергии экологические риски, вовсе не обязательно этот процесс окажется более экологически выгодным.

Кроме энергетических затрат, важно оценивать атомную эффективность, то есть эффективность использования атомов, входящих в исходные материалы, для получения конечных продуктов. Например, побочным продуктом производства оксида пропилена является трет-бутанол. В настоящее время его используют в производстве метилтретбутилового эфира. Если допустить, что потребность в МТБЭ исчезла, встает вопрос, что делать с избыточным трет-бутанолом. Для окисления циклогексана до адипиновой кислоты используют азотную кислоту, побочно образующуюся закись азота выбрасывают в атмосферу. При этом не только теряются для производства атомы азота, но и происходит выброс парниковых газов. А ведь в работах Г.И. Панова из Новосибирска разработаны методы каталитического окисления, напри-

мер, бензола в фенол, с использованием в качестве окислителя закиси азота. Сочетание этих двух процессов могло бы привести к улучшению их экологической приемлемости.

В заключение хочу сказать, что зеленая химия по своей природе и сути является более выгодной, чем традиционная. Поэтому компания, которая достаточно умна, чтобы развивать новые процессы и продукты, оказывающие минимальное воздействие на природу, будет иметь лидирующие позиции на рынке. Когда мы руководствуемся подходом в рамках зеленой химии, мы рассматриваем затраты энергии на альтернативные процессы, включая все стадии: подготовку сырья, проведение процесса, очистку, выделение, рецикл продуктов, очистку стоков. Учитывая энергетическую и атомную эффективность, ликвидацию потерь, такой подход дает максимально выгодные не только экологически, но и экономически процессы.

Для развития международного сотрудничества по зеленой химии делается многое. Проводятся школы, конференции. Создана Международная Зеленая ассоциация. Идеи зеленой химии должны стать основными при подготовке молодых химиков. В МГУ имени М.В. Ломоносова создан Научно-образовательный центр «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия», который уже подготовил программу подготовки магистров по данному направлению. В 2008 году в России пройдет 2-я Международная конференция ИЮПАК по зеленой химии. Перспективы у зеленой химии хорошие, а значит, есть возможность сохранить нашу планету процветающей.

## **ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ: ПОЧЕМУ НУЖНО СЛЕДОВАТЬ ЕЕ ПРИНЦИПАМ**

В начале 1990-х годов по инициативе администрации Б. Клинтона отдел по токсикологии и предотвращению загрязнений Агентства США по Охране окружающей среды (U.S. EPA Office of Pollution Prevention and Toxics) организовал деятельность в рамках Программы президента по Зеленой химии. Взаимодействие между разработками Агентства США по Охране окружающей среды и технологиями устойчивого развития привело к возникновению понятия «Зеленая химия», которое представляет собой своего рода философию. В то время как многие национальные и международные программы направлены на предотвращение загрязнения и решения проблем окружающей среды, зеленая химия делает уникальный акцент на предотвращении загрязнений на самых начальных стадиях планирования и осуществления химических процессов.

В 1998 году П. Анастас и Дж. Уорнер в книге «Зеленая химия: Теория и практика» [*Anastas P.T.; Warner J.C., Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press: New York, 1998*] сформулировали 12 принципов Зеленой химии. Эти принципы отражают деятельность научного сообщества, промышленности и государственных органов, направленную на снижение или устранение использования опасных материалов и химических процессов.

### **12 принципов Зеленой химии**

1. Лучше предотвратить потери, чем перерабатывать и чистить отходы.

2. Методы синтеза надо выбирать таким образом, чтобы все материалы, использованные в процессе, были максимально переведены в конечный продукт.

3. Методы синтеза по возможности следует выбирать так, чтобы используемые и синтезируемые вещества были как можно менее вредными для человека и окружающей среды.

**4.** Создавая новые химические продукты, надо стараться сохранить эффективность работы, достигнутую ранее, при этом токсичность должна уменьшаться.

**5.** Вспомогательные вещества при производстве, такие, как растворители или разделяющие агенты, лучше не использовать совсем, а если это невозможно, их использование должно быть безвредным.

**6.** Обязательно следует учитывать энергетические затраты и их влияние на окружающую среду и стоимость продукта. Синтез по возможности надо проводить при температуре, близкой к температуре окружающей среды, и при атмосферном давлении.

**7.** Исходные и расходуемые материалы должны быть возобновляемыми во всех случаях, когда это технически и экономически выгодно.

**8.** Где возможно, надо избегать получения промежуточных продуктов (блокирующих групп, присоединение и снятие защиты и т. д.).

**9.** Всегда следует отдавать предпочтение каталитическим процессам (по возможности наиболее селективным).

**10.** Химический продукт должен быть таким, чтобы после его использования он не оставался в окружающей среде, а разлагался на безопасные продукты.

**11.** Нужно развивать аналитические методики, чтобы можно было следить в реальном времени за образованием опасных продуктов.

**12.** Вещества и формы веществ, используемые в химических процессах, нужно выбирать таким образом, чтобы риск химической опасности, включая утечки, взрыв и пожар, были минимальными.

Так что же такое Зеленая химия? Зеленая химия является революционной философией, которая стремится объединить государственные, научные и промышленные сообщества, уделяя особое внимание контролю экологического воздействия на самых начальных стадиях научной разработки и изобретения. Этот подход требует новых открытий и междисциплинарного подхода к разработке материалов, основой которого должен быть основополагающий принцип: лучше сразу не производить отходы, чем

впоследствии тратить средства на их захоронение и обработку. Экологически благоприятные альтернативы современным материалам и технологиям должны быть внедрены во всех отраслях промышленности.

В настоящее время доказано, что экологически благоприятные альтернативы технологиям экономически также выгоднее и функциональнее токсичных традиционных аналогов. Когда опасные материалы выводятся из производства, все затраты, связанные с этими соединениями, также отпадают, что ведет к значительному снижению расходов на обработку токсичных материалов, их транспортировку, утилизацию и соответствие техническим условиям.

Если есть выбор между традиционным и «зеленым» решением, приоритеты последнего очевидны. К сожалению, пока создано немного технологий, отвечающих требованиям зеленой химии. Как ученые, так и специалисты других направлений могут начать заполнять этот технологический пробел, если они осознают взаимосвязь между конструированием материалов и защитой окружающей среды. Здесь таятся огромные неиспользованные возможности для изобретательного ума, которые будут по достоинству вознаграждены.

Так почему же надо следовать принципам Зеленой химии? Вот небольшой список вопросов, которые могут возникнуть у читателя. Ответы на эти вопросы, надеюсь, позволят глубже понять подходы, свойственные Зеленой химии.

### **В чем заключается разница между наукой об окружающей среде и Зеленой химией?**

Оба этих направления устремлены на поиски путей, которые сделают мир лучше. Они взаимосвязаны друг с другом. Наука об охране окружающей среды устанавливает источники, разъясняет механизмы и оценивает проблемы окружающей среды. Зеленая химия ищет пути решения этих проблем, создавая безопасные альтернативные технологии. Зеленая химия и химия об окружающей среде – это разные науки. Цель зеленой химии – предотвращение загрязнения в процессе создания химических продуктов или процессов, т.е. предотвращение загрязнения еще до того, когда оно начинается.

**Я – химик. Как мне понять, следую ли я путем Зеленой химии?**

Основная идея Зеленой химии заключается в снижении или полном устранении образования ядовитых химических отходов. Существует много примеров, когда новые усовершенствованные процессы наносят меньший вред природе и человеку, потому что в них используются нетоксичные соединения, не образуются побочные продукты. Если Вы работаете над созданием такого процесса, усовершенствуете старый, или уже создали подобный процесс, Вы смело можете называть себя «зеленым» химиком.

**Если подход Зеленой химии настолько хорош, то почему ее не выделяют в отдельную область науки?**

Синтетическая химия и химия окружающей среды существовали много лет изолированно друг от друга, практически не пересекаясь. По сути своей Зеленая химия возникла пересечении этих двух областей науки. Сама по себе Зеленая химия не может создать новую технологию, она лишь указывает путь движению современной науки. Она открывает многим областям науки возможности новых направлений развития: создание процессов без использования токсичных соединений, без побочных продуктов, предотвращение загрязнения окружающей среды и др. «Зеленая» химия является скорее новым способом мышления химиков, а не новой областью химии.

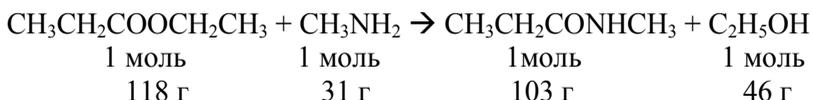
**Процессы, отвечающие требованиям Зеленой химии, являются более затратными или менее затратными по сравнению с традиционными?**

Конечно, «зеленые» процессы менее затратны. Наиболее простой анализ затрат на химический процесс включает стоимость реагентов, оборудования и труда. Но в реальности существуют затраты на утилизацию отходов и побочных продуктов, обработку и очистку реагентов и целевого продукта и другие, иногда скрытые затраты. Использование даже не очень токсичных соединений существенным образом увеличивает затраты на процесс, начиная со стадии их покупки, расходов на транспортировку, обеспечение хранения и специального оборудования, расходы на обеспечение дополнительных мер предосторожности и т.д.

Переход в химических технологиях к нетоксичным реагентам, несомненно, является выгодным как с экологической, так и с экономической точек зрения.

**Почему в зеленой химии используют величину атомной эффективности (и E-фактор), а не используют для оценки реакции выход целевого продукта?**

Понятие *выход продукта* очень важно для описания химической реакции, но оно не дает описания полной картины реакции, а характеризует только количество целевого продукта. Для более понятного объяснения рассмотрим понятия *выход* и *E-фактор* на примере реакции:



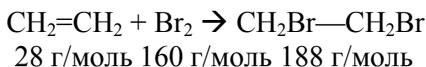
Полагая, что реакция проходит с 100% выходом целевого продукта, можно рассчитать, что из 118 г и 31 г исходных соединений ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOCH}_2\text{CH}_3$  и  $\text{CH}_3\text{NH}_2$ , соответственно) образуется только 103 г целевого продукта. Атомы, входящие в состав молекулы  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ , фактически входят в состав отходов, которые только в некоторых случаях можно использовать с выгодой, а чаще необходимо утилизировать. Значение *атомной эффективности* позволяет анализировать количество превращенных атомов. Для рассмотренной реакции величина атомной эффективности равна:

$$\begin{aligned}
 \text{Атомная эффективность} &= \frac{\text{Масса целевого продукта}}{\text{Суммарная масса всех продуктов}} \\
 \text{Атомная эффективность} &= \frac{103}{149} \times 100\% = 69,1\%
 \end{aligned}$$

Таким образом, 30,9% от исходных веществ необходимо утилизировать.

Анализируя различные типы реакций, не сложно заметить, что некоторые из них проходят без потери атомов исходных компонентов. К таким реакциям относятся, например, реакции присоединения и перегруппировки:

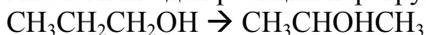
Для реакции присоединения:



Фактор атомной эффективности равен 100%:

$$\text{Атомная эффективность} = \frac{188}{(28+160)} \times 100\% = 100\%$$

Аналогично для реакции перегруппировки



$$\text{Атомная эффективность} = \frac{60}{60} \times 100\% = 100\%$$

Для некоторых типов реакций фактор атомной эффективности никогда не может быть равен 100%. К таким реакциям относятся, например, замещение и элиминирование.

Таким образом, понятия E-фактор и атомная эффективность гораздо лучше оценивают экологическое воздействие процессов, чем выход целевого продукта.

### **Что означает термин «технология в интересах устойчивого развития»?**

Многие ученые отмечают неточность русского перевода зарубежного термина «sustainable». Действительно, определение «устойчивое развитие» означает просто устойчивый, постоянный рост. В тоже время в европейских языках sustainable development, nachhaltige Entwicklung, developement durable имеют более узкий смысл. Это – развитие «продолжающееся» (можно сказать «самодостаточное»), то есть такое, которое не противоречит дальнейшему существованию человечества и развитию его в прежнем

направлении. Поэтому термины «sustainable chemistry» или «sustainable technology» более правильно переводить, используя термины «химия в интересах устойчивого развития» и «технология в интересах устойчивого развития».

Понятия «устойчивое развитие» и «технология в интересах устойчивого развития» включают в себя идею замены ископаемых ресурсов на возобновляемые, т.е. использование биомассы.

Толчок к разработке этой идеи дал нефтяной кризис в 70-х годах XX века, когда в первый раз резко увеличились цены на нефть. Тогда-то в США и разработали биотехнологию получения топливного спирта из кукурузы. Биотехнология оказалась столь рациональной, что сегодня цена топливного спирта вдвое ниже, чем цена спирта, получаемого по классической схеме.

**Диоксид углерода (CO<sub>2</sub>) является парниковым газом. Почему его называют «зеленым» растворителем и широко используют?**

Диоксид углерода используют в процессах в качестве растворителя не случайно. Во-первых, он является побочным продуктом многих химических процессов и его дальнейшее использование снижает выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу.

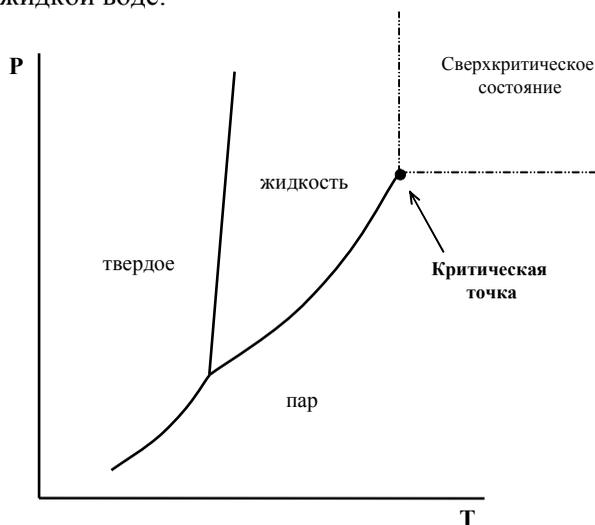
Кроме того, использование CO<sub>2</sub> позволяет заменить вредные для здоровья органические растворители. Таким образом, одновременно решаются несколько проблем.

В-третьих, энергетические затраты при проведении реакции с использованием диоксида углерода в качестве растворителя значительно ниже, чем при использовании других растворителей. Так, если реакция проводится в воде, необходимо затратить большое количество энергии на ее выпаривание.

**Как можно использовать газообразный диоксид углерода для растворения жидких или твердых органических веществ?**

Диоксид углерода – одна из наиболее простых молекул, она хорошо известна в течение многих веков. Однако интерес к использованию CO<sub>2</sub> в качестве растворителя возник не так давно, причем используют его не в газообразном состоянии, а сверхкритическом.

Всем хорошо известно, что вещества могут находиться в твердом, жидком и газообразном состояниях. Но помимо них существует сверхкритическое состояние, в котором свойства жидкости и газа перестают различаться. Критической точке на диаграмме состояния вещества соответствуют предельная точка на кривой равновесия жидкости и пара (Рис. 1). В этом состоянии свойства веществ меняются по сравнению с жидким состоянием. Например, вода в сверхкритическом состоянии становится неполярной и хорошо растворяет органические соединения, нерастворимые в жидкой воде.



**Рис. 1.** Диаграмма состояния CO<sub>2</sub>; линии отвечают равновесию между состояниями

Если сравнить параметры критической точки для различных веществ, видно, что для CO<sub>2</sub> величины критических температуры и давления намного ниже, чем для воды (см. Таблицу).

Видно, что для достижения сверхкритического состояния воды необходимо давление 218 атм. и температура 374 °С. Для создания таких условий требуется специальное дорогостоящее оборудование. Достичь сверхкритического состояния диоксида углерода намного проще. Кроме того, CO<sub>2</sub> имеет некоторые преимущества по сравнению с водой и другими соединениями:

- Дешевизна;

- Относительная нетоксичность;
- Низкая вязкость;
- Маленькая теплота испарения, что исключает перегрев;
- Легкость выделения из реакционной среды в виде газа при сбросе давления.

Таблица

### Величины критических параметров

Вещество	$T_{к}, ^\circ\text{C}$	$p_{к}, \text{атм}$	$V_{к} \cdot 10^6, \text{м}^3/\text{моль}$
Вода	374	218,3	56
Гелий	-267,7	2,26	57,8
Водород	-240	12,8	61,8
Кислород	-118,2	50,1	74,4
Азот	-146,8	33,5	90,1
<b>Диоксид углерода</b>	<b>31,2</b>	<b>72,9</b>	<b>94,0</b>
Пропан	96,9	42,0	200
Этиловый спирт	243,3	63,0	167

Все эти преимущества сделали диоксид углерода привлекательным для промышленности реагентом, который широко используют, например, для изготовления растворимого кофе и картофельных чипсов.

**Вода – это «универсальный растворитель». Почему же ее не считают более безвредным экологически растворителем, чем  $\text{CO}_2$ ?**

Как бы это ни казалось противоречивым, вода не относится к самым «зеленым» растворителям. Растворимость соединений в воде обычно выше, чем, например, в  $\text{CO}_2$ . В результате увеличивается риск загрязнения окружающей среды в случае выброса такой загрязненной воды в атмосферу.

Автор надеется, что теперь многие вопросы стали понятными, и все сомнения относительно необходимости применения подходов Зеленой химии полностью сняты.

## **«ЗЕЛЕНАЯ» ХИМИЯ В РОССИИ**

### **Предисловие составителей к книге «Зеленая» химия в России**

Экологические проблемы, с которыми сталкивается человечество, имеют глобальную природу и характерны для всех стран мира. Однако многие проблемы, связанные с промышленными загрязнениями, отличаются для отдельных стран, имеют они свою специфику и в России. Определяется она преимущественно северным расположением России. Во всем мире промышленные предприятия не располагают в зонах, где средняя годовая температура опускается ниже 10°C. Но половина территории России расположена в зоне вечной мерзлоты и за Полярным кругом, причем эти места богаты полезными ископаемыми: до 42% мировых запасов газа и 13% нефти, а также 40% мировых запасов никеля и платины сосредоточены в Арктической зоне. В этих районах построены крупнейшие металлургические предприятия (Норильск, Кольский полуостров), предприятия бумажной промышленности (Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат) и др. Биологическое разложение промышленных отходов в Арктике крайне замедлено, а ведь природа Севера гораздо чувствительнее к их воздействию по сравнению с южной. Поэтому слепое заимствование западных технологий вместе с предложенными оценками экологических рисков зачастую неприменимо для российских условий. С целью экономии ресурсов во времена СССР заводы строили на берегах водоемов, жилье приближали к промышленным объектам, все это приводило к усилению воздействия загрязнений на здоровье человека. Кроме географических факторов, существенны и другие. Так, до 40% промышленных производств в России устарели и не соответствуют экологическим нормам. Во время их проектирования и строительства таких норм просто не существовало. Но даже и в современных условиях социальные факторы, а именно слабый контроль со стороны государства и распространенное неуважение к законам, препятствуют повышению экологической безопасности предприятий. Как правило, экология – это последнее, на что тратятся их прибыли.

Поэтому именно в России особенно остро стоит вопрос подготовки специалистов, ответственно относящихся к нашему единственному дому – нашей стране. Если сегодняшние студенты и аспиранты – химики, технологи – глубоко осознают, что другой Земли у нас нет и не предвидится, ознакомятся с существующими перспективами и уже выполненными разработками в области «зеленой» химии, можно надеяться, что они возьмутся за развитие данного направления, будут последовательно добиваться снижения экологического ущерба от работы промышленных производств. Появится шанс, что наши внуки и правнуки будут жить в условиях, пригодных для жизнедеятельности человека и будут относительно здоровы.

В последнее время происходит сдвиг от административных методов, предписывающих контролировать нежелательные выбросы и уничтожать образующиеся в результате химических процессов вредные вещества, к принципиально иным методам – методам «зеленой» химии. «Зеленая» химия в своем лучшем воплощении – это вид искусства, позволяющего не просто получить нужное вещество, но в идеале получить его таким путем, который не вредит окружающей среде ни на одной стадии производства. Как любое отточенное движение требует меньше сил для его реализации, так и использование методов «зеленой» химии приводит к снижению затрат на производство, хотя бы уже потому, что не требуется вводить стадии уничтожения и переработки вредных побочных продуктов, использованных растворителей и других отходов, поскольку их просто не образуется. Сокращение числа стадий ведет к экономии энергии, и это тоже положительно сказывается на экологической и экономической оценке производства.

Важно отметить, что взгляд на проводимые исследования «с точки зрения «зеленой» химии» может оказаться полезным в чисто научном плане. Часто такая смена системы воззрений позволяет ученому увидеть собственные исследования в новом свете и открыть новые возможности, что на пользу науке в целом.

К «зеленой» химии, с точки зрения химика, можно отнести любое усовершенствование химических процессов, которое положительно влияет на окружающую среду. В книге П.Т. Анастаса и Дж.С. Уорнера ««Зеленая» химия: теория и практика» [1] сформулированы двенадцать принципов «зеленой» химии, кото-

рыми следует руководствоваться исследователям, работающим в данной области.

Можно разделить проблемы, находящиеся в компетенции «зеленой» химии, на два направления. Первое связано с переработкой, утилизацией, уничтожением экологически опасных побочных и отработанных продуктов химической и других отраслей промышленности таким образом, чтобы ликвидировать экологическую опасность или хотя бы снизить ее до приемлемых величин.

Другое направление, более перспективное, связано с разработкой новых промышленных процессов, которые бы позволяли обойтись вовсе без экологически опасных продуктов (в том числе побочных) или свести их использование и выделение к минимуму. Одним из наглядных примеров того, как изменение подхода к производству только одного химического продукта может потянуть за собой целую цепочку положительных экологических последствий, является производство каустической соды. В настоящее время ее получают электролизом хлорида натрия в водном растворе по реакции



где  $e$  означает электрод из соответствующего материала.

Щелочи требуется много, а хлор является побочным продуктом этого процесса. Для утилизации этого избыточного хлора учеными были разработаны многие процессы хлорной промышленности. А ведь существуют и бесхлорные методы производства каустика. Их разработка позволит избежать избыточного выделения хлора и начать замену многих получаемых на его основе продуктов другими, более экологичными. К примеру, одним из крупнотоннажных продуктов, производимых в промышленности, является поливинилхлоридный пластик (ПВХ), в настоящее время он активно используется для производства товаров народного потребления (окна, линолеум, игрушки и др.). ПВХ обладает высокими потребительскими свойствами – прочен, легко формуется, устойчив в условиях температур окружающей среды. В то же время он потенциально опасен. Ведь в его составе содержится до 50% хлора. Следовательно, процессы его утилизации неизбежно будут сопровождаться выделением диоксинов. Повторное ис-

пользование ПВХ затруднительно и препятствует рециклингу других пластмасс, поскольку ПВХ очень плохо смешивается с ними и не способен размягчаться без разложения. Более того, все три стадии производства ПВХ – хлорирование этилена до дихлорэтана, дегидрохлорирование дихлорэтана до винилхлорида и полимеризация – сопровождаются выбросами диоксинов, причем в нарастающих количествах. Учитывая широчайшее поле применения подобных пластиков, отдаленные последствия могут быть крайне негативными. Недаром страны с более развитой экономикой стремятся перевести такие производства в третьи страны. Вот почему мы видим повсюду рекламу пластиковых окон «из Германии», которые на самом деле давно уже делаются у нас, в России. В то же время недавно разработаны промышленные способы производства металлоценовых катализаторов получения полиолефинов, которые способны заменить ПВХ практически во всех областях его использования, но при этом не столь опасны с точки зрения экологии. При соответствующих масштабах производства эти полимеры могут стать выгоднее ПВХ, хотя уже сейчас они представляют угрозу для 15% рынка ПВХ.

В представленном в данной книге материале большое внимание уделяется методам утилизации опасных или просто производимых в избыточном количестве хлорорганических соединений. Этой проблеме посвящены работы ученых Института Органической химии им.Н.Д. Зелинского РАН (под руководством С.С. Юфита), Института проблем экологии им. А.Н. Северцова РАН (под руководством Н.А. Клюева), Института катализа им. Г.К. Борескова РАН (под руководством В.И. Симагиной), ведутся такие работы и на Химическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова. Из приведенного материала видно, сколько усилий требуется для переработки хлорсодержащих соединений и насколько трудно подобрать экономически оправданные методы, не связанные при этом с экологическими рисками. В то же время применение «бесхлорных» методов производства промышленной продукции ликвидирует эту проблему в зародыше. Так, в статье О.Н. Чупахина и В.Н. Чарушина (Институт органического синтеза Уральского отделения РАН) описаны подходы к замене реакций нуклеофильного замещения галогена в органических соединениях на другие функциональные группы реакциями нук-

леофильного замещения водорода теми же группами. Огромное количество реакций нуклеофильного замещения включает стадию хлорирования, которая при используемом методе полностью отпадает. Из приведенной статьи видно, какие перспективы эта реакция открывает в органическом синтезе.

Часто представители промышленности отвергают принципы «зеленой» химии на основании того, что предлагаемое «революционное» изменение производства экономически нецелесообразно. В этом случае оптимальными были бы «эволюционные» изменения промышленных процессов, позволяющие на каждой стадии немного улучшить экологические показатели. Примером может служить описанное в [2] эволюционное усовершенствование каждой стадии производства освежителей цвета для стиральных порошков на основе стильбена. Изменение концентрации кислоты, замена органических растворителей водой, изменение конструкции аппаратов и др. позволяют существенно снизить экологический ущерб от всех стадий производства. При этом «эволюционные» изменения, на наш взгляд, осуществляются полностью в русле задач и методов «зеленой» химии, и противопоставляться им не должны. Особенно следует подчеркнуть, что все проведенные изменения оказались и экономически выгодными.

Загрязнение воздуха в городах России преимущественно вызвано двумя химическими веществами – диоксидами азота и серы. Естественно, есть и другие, и даже гораздо более опасные вещества, такие как аммиак, бенз-а-пирен и пр., однако диоксиды азота и серы составляют львиную долю по массе всех выбросов городской промышленности и автомобилей. Об автомобильном загрязнении воздуха нужно сказать особо: по данным Всемирной организации здравоохранения, до 70% взрослых и особенно детских болезней вызывается выхлопными газами автомобилей. В целом в 1992 г. в воздух в России выброшено до 6,5 млн. т оксидов азота и 8,5 млн. т серы. Особенности географического положения России приводят к тому, что доминирующими ветрами в Россию переносятся оксиды азота и серы из Украины, Германии, Польши, Белоруссии, Чехии, Словакии, Финляндии и даже Великобритании. В свою очередь, Россия «экспортирует» в Европу выбросы Норильского металлургического комбината и никелевого завода на Кольском полуострове. Норильский комбинат осо-

бенно сильно загрязняет северные регионы России. В связи с этим чрезвычайно актуальной задачей является снижение содержания  $\text{NO}_x$  в выбросах автомобилей и промышленных предприятий. Решению этой проблемы посвящены две приведенные в сборнике статьи – В.Ф.Третьякова и Т.Н. Бурдейной из ИНХС им. А.В. Топчиева РАН и группы московских и сибирских (г.Новосибирск, ИК им. Г.К. Борескова РАН) ученых, работу которых обобщил В.А.Садыков.

Очистка питьевой воды и сточных вод осуществляется в настоящее время как физическими, так и химическими методами. Представленная в настоящем сборнике статья В.Г. Систера посвящена оценке возможностей ультразвукового воздействия для улучшения параметров электрокоагуляционной и флотационной очистки воды. Развиваемый метод позволяет существенно снизить расход реагентов и улучшить показатели качества воды: прозрачность, содержание тяжелых металлов и др.

Еще две статьи развивают методы рекультивации природных сред. В статье И.В. Перминовой с сотр. рассмотрено применение в этих целях гуминовых веществ. Одна из первых серьезных попыток научной классификации гуминовых веществ позволила систематизировать области их применения, большинство из которых тесно примыкают к области «зеленой химии».

Одно из направлений «зеленой» химии, развиваемое в России, – синтез новых материалов, очистка химических веществ с использованием сверхкритических жидкостей. Чаще всего используют сверхкритический диоксид углерода, реже – воду, аммиак, пропан, азот и ксенон. Диоксид углерода и вода – дружелюбные природе и недорогие реагенты, поэтому их использование, безусловно, отвечает целям и задачам «зеленой» химии. И главное достоинство сверхкритических жидкостей: после использования давление в реакторе сбрасывается, и они возвращаются в атмосферу Земли. При этом отпадает необходимость в использовании вредных органических растворителей в больших количествах, ведь после реакции требуется обычно тщательная отмывка готового продукта.

Вблизи критической точки на фазовой диаграмме свойства веществ радикально меняются. Вода и  $\text{CO}_2$  становятся эффективными растворителями. Поскольку сверхкритический диоксид уг-

лерода инертен, в нем можно проводить синтез органических веществ, в том числе комплексов металлов, полимеризацию, с его помощью можно экстрагировать необходимые вещества, например, извлекать из растворов соли тяжелых металлов. Более того, возможна экстракция и из твердых веществ. Так, в Радиевом институте (г. Санкт-Петербург) разработаны научные основы извлечения трансураниевых элементов из радиоактивно загрязненных земель Чернобыльской зоны. Что касается полимеризации, сверхкритический  $\text{CO}_2$  лучше растворяет фторированные углеводороды. Фирма «Дюпон» выбрала технологию с применением этого растворителя для производства фторсодержащих полимеров. Синтез других полимеров можно проводить в присутствии перфторуглеродов. Они позволяют предотвратить выпадение в осадок целевого полимера, например, полиакрилата, за счет того, что растущая молекула полимера удерживается в растворе окружающими ее перфторированными группами, примерно так, как молекулы поверхностно-активных веществ удерживают в растворе частицы жира и грязи при стирке. Кстати, в Японии сверхкритический  $\text{CO}_2$  уже активно используют в прачечных-химчистках. В других отраслях промышленности сверхкритический  $\text{CO}_2$  тоже активно используется, но преимущественно как агент для экстракции. В качестве растворителя в химических реакциях он применяется в считанном количестве промышленных процессов. К числу пионеров можно отнести ученых Ноттингемского университета в Великобритании, которые совместно с фирмой Thomas Swan & Co. Ltd. сумели быстро масштабировать до 1000 т/год процесс селективного гидрирования изофорона в триметилциклогексанон в присутствии палладиевого катализатора [3], причем реактор сконструирован таким образом, что переход к другому процессу происходит относительно легко.

Работы по использованию сверхкритического  $\text{CO}_2$  активно ведутся в России в МГУ им. М.В. Ломоносова, в Институте элементорганических соединений РАН в лаборатории А.Р.Хохлова, и в других исследовательских лабораториях.

Использование воды вблизи критической точки сложнее и обходится дороже, чем диоксида углерода, поскольку критические температура и давления в этом случае существенно выше (374°C, 220 атм.). Однако получаемые результаты могут быть

очень интересными, т.к. вода приобретает свойства чрезвычайно сильного растворителя.

Необходимо учитывать затраты энергии при переводе вещества в сверхкритическое состояние. Экологическая выгода от использования сверхкритических флюидов должна превосходить тот ущерб, который может быть нанесен природе в результате выработки дополнительных количеств энергии.

В нашей книге приведена работа, выполненная в лаборатории Института проблем экологии и эволюции РАН, показывающая возможности использования воды в субкритическом состоянии для утилизации тяжелых полихлорированных стойких органических загрязнителей.

Разработка новых растворителей для химических процессов не ограничивается использованием сверхкритических флюидов. Важное направление «зеленой» химии – это использование ионных жидкостей для проведения обычных процессов органической химии. Ионные жидкости нелетучи, негорючи, а варьирование составляющих их катионов и анионов позволяет сконструировать растворитель, точно подходящий для предстоящего использования. В настоящем сборнике ведущие в России в этом направлении работы представляет статья, написанная сотрудниками ИОХ им. Н.Д. Зелинского РАН (С.Г. Злотин и др.).

Среди химических процессов, модифицированных по законам «зеленой» химии, можно упомянуть еще применение биокатализаторов в химических процессах. В начале 90-х годов России (г. Пермь) внедрен биокаталитический процесс получения акриламида. За эту работу авторы получили Премия Правительства РФ за 1995 г.

Каталитические реакции составляют важную часть процессов «зеленой» химии. Действительно, катализатор используется в небольших количествах, обычно регенерируется, при этом применение катализатора часто позволяет существенно улучшить производительность и селективность процесса. Так, в последнее время нитрование ароматических соединений стремятся проводить с использованием только азотной кислоты, а не ее смеси с серной, что снижает экологические риски. При этом найдено, что определенные сорта цеолитов в качестве катализаторов позволяют проводить процесс с высокой скоростью и селективностью. Сами же

цеолиты – природные или синтетические глины – вполне экологичны, легко отделяются от реакционной среды и регенерируются азеотропным удалением воды. Относительно новое направление использования катализаторов – синтез биоразлагаемых полимеров вместо используемых в настоящее время устойчивых марок. Так, каталитический процесс позволил снизить температуру получения и улучшить физико-химические свойства полиаспаргиновой кислоты. Этот полимер можно использовать вместо полиакриловой кислоты, которая в природе не разлагается. Кроме того, его можно использовать в качестве ингибитора коррозии и образования накипи в системах очистки воды. Применение каталитических процессов в будущем позволит создавать материалы (в том числе полимеры), которые не нуждаются в добавках, пластификаторах, ингибиторах горения и пр., т.е. веществах, затрудняющих повторное использование материалов.

Один из путей достижения целей «зеленой» химии – это получение химических продуктов из природных. Поэтому получение спирта из зерна – это типичный процесс «зеленой» химии. Поскольку этот процесс дешевле, чем производство спирта окислением этилена, производство по последнему методу прекращено практически везде в мире. Пока стоимость зернового спирта около 300 долларов за тонну (600\$/т при производстве по классической схеме из этилена), но если биотехнологический спирт подешевеет еще в два раза, то он станет сырьем для производства этилена и полиэтиленов. Такая перспектива позволяет практически полностью отказаться от использования нефти в качестве основного сырья химической промышленности и перейти к возобновляемым источникам сырья. В связи с этим для России очень важно не отстать в таких исследованиях от наиболее развитых стран. Ведь пока наше благосостояние держится на нефти. Запасы ее не беспредельны, стоимость постоянно растет в связи с усложнением условий ее добычи (полярные шельфы, вечная мерзлота, болота). Поэтому при условии заметного прогресса в развитии биотехнологий на Западе покупатели могут отказаться от использования нефти, при этом коренным образом изменится структура промышленности, и России следует быть к этому готовой.

Основным сырьевым источником для этого направления «зеленой» химии является биомасса растений, точнее, лигноцеллю-

лоза и крахмал. Методы утилизации лигноцеллюлозы в настоящее время разработаны недостаточно, но, поскольку в составе сельскохозяйственных и бытовых отходов основную часть составляет лигноцеллюлоза и целлюлоза, превращение их в сахара позволило бы невероятно ускорить развитие экологически безопасных методов производства химической продукции. Приведенные в нашей книге статьи К.Г. Боголицына с сотр. (Архангельский государственный технологический университет) и Б.Н. Кузнецова с сотр. (Институт химии и химической технологии СО РАН, Красноярский государственный университет) направлены на глубокое изучение структурной организации и химических свойств лигнинов, что, несомненно, является необходимым шагом к разработке способов их трансформации в сахара. Дальнейшие перспективы понятны – с помощью ферментов сахара превращаются в органические кислоты (лимонную, молочную, шавелевую и др.), а эти кислоты будут служить сырьем для огромного количества других химических продуктов. В частности, дегидратацией молочной кислоты получается акриловая, из нее – ацетальдегид, этиленгликоль, тетрагидрофуран, пропандиол и др. Но и сами органические кислоты являются ценными химическими продуктами. Полученный на основе молочной кислоты полимер – полилактат – хорошая замена полиэтилена и полипропилена в упаковочных пленках: он нетоксичен, и при этом очень легко разлагается в природе (буквально за несколько недель). Важно, что дополнительного поступления  $\text{CO}_2$  в окружающую среду при использовании растительного сырья не будет: сколько диоксида углерода истрачено в процессе фотосинтеза на образование биомассы, столько его и выделится в конечном счете.

Мы надеемся, что представленный в настоящей книге материал поможет молодым исследователям и тем, кто воспитан на принципах классической химии, понять уровень развития работ в области «зеленой» химии в России и их перспективность, будет стимулировать интерес к работе в этой ключевой отрасли современной химической науки.

В заключение мы должны сердечно поблагодарить Международный союз чистой и прикладной химии (IUPAC) и Итальянский межуниверситетский консорциум (INCA) за финансовую помощь, позволившую осуществить данный проект. Выражаем

также искреннюю благодарность ИНТАС, предоставившему грант для перевода книги на английский язык.

### ЛИТЕРАТУРА

1. P.T. Anastas, J.C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*, Oxford University Press, New York, 1998, p. 30.
2. S.Cook. Green chemistry – evolution or revolution? *Green Chemistry*, Oct. 1999, G138-G140.
3. P. Licence, J. Ke, M. Sokolova, S.K. Ross, M. Poliakoff. Chemical reactions in supercritical carbon dioxide: from laboratory to commercial plant. *Green Chemistry*, 2003, 5, 99–104
4. С.С. Юфит. Яды вокруг нас. – М.: Джеймс, 2001, 400 с.
5. Л. Викторов. «Зеленая» химия побеждает. *Химия и жизнь*, 2001, № 12.
6. С.М. Комаров. Кювета со сверхкритическим флюидом. *Химия и жизнь*, 2000, № 2, с. 8.
7. С.Д. Варфоломеев, В.И. Лозинский, Е.И. Райнина. Кристоиммобилизованные ферменты и клетки в органическом синтезе. *Журнал чистой и прикладной химии*, 1992, т. 64, № 8.
8. P.T. Anastas, M.M.Kirshhoff, T.C.Williamson. Catalysis as a foundational pillar of green chemistry. *Applied Catalysis A: General*, 221, v. 2001, p. 3-13.

**Предисловие редакторов русского перевода  
книги Ф. Зеккини  
«ГЛОБАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА»**

Аномально теплая зима 2006–2007 года в Европе и Северной Америке необычайно подогрела интерес к проблеме глобального потепления. Что же такое глобальное потепление – реальное будущее Земли или миф? Каков вклад человека в глобальное потепление? Что ждет Россию в связи с глобальным потеплением, если оно реально наступает?

Актуальные проблемы глобального потепления и изменения окружающей среды на высоком научном уровне, и в то же время популярно обсуждаются в данной книге. Некоторые ответы на последний вопрос будут предложены читателю в этом предисловии.

На современном уровне развития науки большинство ученых пришло к согласию о том, что парниковый эффект – вторичное нагревание земной поверхности и атмосферы в результате взаимодействия парниковых газов с солнечным излучением – реально наблюдается в природе. Основные парниковые газы – это пары воды, углекислый газ и метан. Действительно, за последние годы (примерно 50–100 лет) отмечено достоверное потепление климата. Например, по данным метеостанции МГУ им. М.В. Ломоносова, в Москве за 100 лет среднегодовая температура воздуха выросла на 2,3°C, температура апреля – на 3,2°C, годовые суммы осадков – на 150 мм. Самым теплым был 1989 год (7,3°C). С 1954 года зафиксирован рост облачности до 15%. Однако человек не так давно ведет подробные наблюдения за погодой – всего каких-то 100–150 лет. Поэтому трудно установить точно, насколько происходящее потепление связано с деятельностью человека.

Из школьного курса географии известно, что на Земле на протяжении ее истории холодные периоды сменялись более теплыми. Например, сейчас мы живем в межледниковом периоде. Предыдущим межледниковым периодом был Микулинский. На протяжении межледникового периода климатические условия меняются. Ученые изучили остатки микроорганизмов и газовые включения, находящиеся в покровных ледниках Антарктиды и

Гренландии, и установили, что в наиболее теплые эпохи Микулинского периода средние температуры на Земле были на несколько градусов выше современных.

Аналогично и в теперешнем межледниковом периоде более теплые эпохи сменяются более холодными. Наиболее теплый период современного межледникового периода называется Климатический оптимум голоцена, он наблюдался от 6 до 5 тысяч лет назад. В то время средние температуры были на 2–3 градуса выше современных, уровень Мирового океана был выше на 5 метров, а границы климатических зон проходили севернее, чем сейчас (но примерно так, как в Микулинском межледниковом периоде).

Так что происходящее потепление климата может иметь естественные причины, но также вероятно, что человек вносит существенный вклад в глобальное потепление. В этом случае лучше заранее принять меры к снижению антропогенного воздействия. Иначе к тому моменту, когда вклад человечества в наступление глобального потепления можно будет констатировать наверняка, этот процесс пойдет так далеко, что изменить что-либо уже будет невозможно. Здесь можно провести аналогию с курением: человек может курить с детства, не задумываясь о будущих болезнях. И когда через 30–40 лет он заболит раком легких, ничего поделать будет уже нельзя.

Существует распространенное мнение, что наша северная и континентальная страна – Россия – только выиграет в результате глобального потепления. Да, подъем уровня моря сильно скажется на близких к морю странах, например, таких, как Нидерланды и Великобритания. При этом для России видятся сплошные выгоды: климат станет более теплым, на севере станут расти ананасы и апельсины, уже не говоря о пшенице и картофеле, сократятся затраты на отопление зданий, территории, покрытые вечной мерзлотой, станут доступнее для проживания человека. Представления эти не совсем верные.

Во-первых, глобальное потепление означает увеличение средних температур. Но это не означает, что вырастут как летние, так и зимние температуры. Скажем, согласно долгосрочным климатическим прогнозам, в России зима может стать теплее, а лето – нет. Выгоды для сельского хозяйства не получается, пото-

му что вместо периода покоя зимой растения будут развиваться и погибать в результате даже небольших морозов.

Во-вторых, таяние вечной мерзлоты на первых порах приведет к гигантскому экономическому ущербу: разрушатся здания и инфраструктура (трубопроводы, дороги и др.), построенные с расчетом на мерзлый грунт. Как показывают современные климатические модели, наиболее сильное повышение температуры (на 2–5 градусов) к середине 21-го века может произойти в Якутии, в Западной Сибири, на Дальнем Востоке, на севере Европейской территории России. В других регионах увеличение температуры будет незначительным. Смещение климатических зон на север приведет к опустыниванию южных территорий и сокращению лесов. По некоторым прогнозам, в Западной Сибири площадь лесов может сократиться в два раза, граница степной зоны сдвинется к северу на 10 градусов широты, а площадь опустынивания увеличится в два раза. А ведь известно, что Российские леса, в отличие от тропических, являются реальными поставщиками кислорода на планете, потому что в северных лесах процессы фотосинтеза, в которых кислород выделяется, преобладают над процессами гниения, в которых кислород потребляется, и которые активно протекают в тропических лесах.

Далее, потепление климата может оказать серьезное влияние на распространение инфекционных болезней. Известно, что ряд болезней распространяется только в теплом климате. Кроме того, изменение климатических зон приведет к изменению путей миграции и продвижению на северо-восток теплолюбивых животных и растений и связанных с ними паразитов. Это может привести к возникновению новых болезней и активизации давно забытых. Вредители сельского хозяйства также могут распространиться и освоить новые территории.

Потепление климата особенно активно сказывается в Арктическом регионе. В 20-м веке ускоренно сокращалась площадь арктических льдов. Температура воды в Арктическом бассейне выросла на 0,5–1,5 градуса. Как показало изучение ледяного щита Антарктиды, за последние 400 тысяч лет впервые наблюдается повышенное содержание парниковых газов в атмосфере.

Приведенные данные показывают, что сценарий глобального потепления и для России не слишком благоприятный. Поэтому

россиянам, как и жителям других стран, нужно позаботиться о снижении выброса парниковых газов и сделать все возможное для предотвращения антропогенного потепления.

Резкое снижение экономических показателей в России и других странах бывшего СССР в конце 80-х – начале 90-х г.г. прошлого века благоприятно сказалось на выбросах парниковых газов. Например, в России с 1990 г. количество выбросов снизилось на 32%, а начиная с 2000 г. начало расти и увеличилось к 2005 г. на 4,1%. Для сравнения, в США с 1990 года количество выбросов парниковых газов увеличилось на 15,8%, однако начиная с 2000 г. повысилось только на 1,3%.

Для сокращения выбросов парниковых газов Россия должна в первую очередь ограничить количество топлива, сжигаемого на крупных нефтеперерабатывающих предприятиях. Кроме того, сжигание природного газа более благоприятно для экологии, чем сжигание угля: при этом вырабатывается меньше парниковых газов, и гораздо меньше взвешенных частиц. Как вы прочтете в книге, изменение содержания взвешенных частиц в атмосфере – это одна из причин изменений климата, оно также очень плохо влияет на здоровье людей.

Было проведено исследование, в котором рассматривались два сценария изменения выбросов углекислого газа в России. В первом сценарии предусмотрено значительное сокращение выбросов CO<sub>2</sub> в результате рыночных реформ. Во втором сценарии сохранялись старые неэффективные технологии, экспорт энерго-ресурсов и энергии увеличивался, происходили негативные сдвиги в энергобалансе, например, замена природного газа при производстве энергии углем. В этом сценарии происходит наибольший рост выбросов углекислого газа. Экономическое развитие по второму сценарию вызовет резкий рост загрязнения воздуха и вызовет увеличение смертности населения: 30 дополнительных смертей в год на 100 тысяч человек населения. Наоборот, снижение выбросов CO<sub>2</sub> на 3,5 тысячи тонн сохраняет 1 человеческую жизнь в России.

Согласно подписанному Россией Киотскому протоколу, предусмотрена торговля квотами на выпуск парниковых газов. Это означает, что каждая страна, в соответствии с величиной территории и количеством лесов, получает право выпустить в атмо-

сферу определенное количество парниковых газов. Если промышленность производит меньше парниковых газов, чем позволяет квота, то избыток можно продать тем странам, которым не хватает собственных квот. В нынешней ситуации это хороший источник дохода для стран с менее развитой промышленностью. Осенью 2006 года, например, Газпром заключил договор с компанией Power's Deeside Power о поставке энергии в обмен на право выбросить определенное количество парниковых газов. Крупные нефтеперерабатывающие компании России, такие, как Роснефть, Лукойл и ТНК-ВР собираются сократить выбросы парниковых газов на 100 млн. т в эквиваленте углекислого газа путем ограничения сжигания природного газа.

Согласно Энергетической стратегии России на период до 2020 г., к 2010 г. объем выбросов парниковых газов в России составит 75–80% от уровня 1990 г., что позволит выполнить обязательства страны, предусмотренные Киотским протоколом к Рамочной Конвенции ООН, и даже в 2020 г. не достигнет этого уровня.

Ученые Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, как уже упоминалось выше, активно участвуют в изучении проблемы глобального потепления. На географическом факультете ведутся работы по моделированию изменений климата; ученые химического факультета ищут способы проведения химических процессов, позволяющие свести к минимуму выпуск парниковых газов. Например, сейчас основной проблемой становится транспорт. Если в промышленном и сельскохозяйственном секторах мировой экономики наблюдается снижение выбросов парниковых газов (на 13 и 20%, соответственно, с 1990 по 2005 г.), то в транспортном секторе наблюдается рост (за то же время на 24%). Только в сфере международной авиации за 15 лет количество выбросов увеличилось на 52%. А ведь применение катализаторов дожига выхлопных газов позволяет свести к минимуму выброс парниковых газов двигателями автомобилей. Сейчас ряд правительств предлагают ввести в систему торговли квотами по выбросу парниковых газов авиатранспорт. В этом случае, по-видимому, придется разрабатывать системы очистки и для двигателей самолетов: в момент взлета и посадки они выбрасывают много оксидов азота, при рулении и стоянке на земле – углеводороды и оксиды углерода.

Предлагаемая читателям книга поможет разобраться в ситуации с глобальным потеплением. В книге не навязывается одно мнение, а приводится весь спектр мнений по поводу глобального потепления. Представлены различные сценарии развития климатической ситуации на Земном шаре. Книга не только дает возможность глубоко познакомиться с этой насущной для всех людей проблемой, но и учит размышлять, делать выводы из предложенных данных. Поэтому она, безусловно, будет полезной для школьников, учащихся колледжей, студентов вузов – для всех, кого интересует будущее нашей Земли.

### ЛИТЕРАТУРА

1. ИГКЭ (2003): Тезисы докладов. Всемирная конференция по изменению климата. Сентябрь 2003 г., изд. ИГКЭ, 700 стр.
2. [www.pointcarbon.ru](http://www.pointcarbon.ru).
3. Данилов-Данильян В.И. (ред.) (2003): Климатические изменения: взгляд из России. ТЕИС, М., 416 стр.
4. Минэкономразвития РФ (2003): Национальный доклад по проблемам изменения климата. <http://www.economy.gov.ru/merit/79>
5. Минэнерго (2003): Энергетической стратегия РФ на период до 2020 года.  
<http://www.mte.gov.ru/docs/32/103.html>

## **НОВЫЙ ОРГАНИЧЕСКИЙ ПРАКТИКУМ – ПОДХОД К ОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЗЕЛЕННОЙ ХИМИИ**

Образовательные ресурсы присутствуют в сети Интернет, причем в значительном количестве. В данной статье речь пойдет только о русскоязычных ресурсах, поскольку ресурсы на других языках в России нельзя назвать общедоступными в связи с недостаточным знанием иностранных языков как студентами, так во многих случаях и преподавателями. Поисковый запрос образовательных ресурсов по химии дает такой список ресурсов:

- ✓ Chemnet <http://www.chem.msu.su/rus/>
- ✓ Алхимик материалы для школьников  
<http://alhimik.ru/teleclass/index.shtml>
- ✓ Российский образовательный портал Коллекция: естественнонаучные опыты  
[http://www.experiment.edu.ru/Органический практикум для биологов \(Алтайский гос. Университет\)](http://www.experiment.edu.ru/Органический_практикум_для_биологов_(Алтайский_гос._Университет))  
[http://www.asu.ru/departments/chemistry/site/org/ochem\\_bio/lab or.html](http://www.asu.ru/departments/chemistry/site/org/ochem_bio/lab_or.html)
- ✓ ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ В КУРСЕ ОБЩЕЙ И НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ (В.В. Безляк, Н.И. Белоусова, И.Ю. Земляков, А.А. Килин, Т.Н. Цыбукова, Т.А. Шевцова Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск)
- ✓ Компьютерный практикум по химии для студентов ВУЗов и ССУЗов <http://87.242.73.60/projects/chemlab/demo/>требуется специальное программное обеспечение
- ✓ Институт новых технологий <http://www.int-edu.ru/object.php?m1=444&m2=2&id=808>

---

\* Научно-образовательный центр МГУ имени М.В. Ломоносова «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия».

\*\* Университет г. Регенсбург, Германия.

В списке перечислены только некоторые ресурсы, связанные с органической химией и с лабораторными курсами химии. Среди них можно найти лишь отдельные примеры действительно интерактивных общедоступных курсов, например, коллекция естественно-научных опытов на образовательном портале, но этот ресурс ориентирован на школьников. Другие практикумы оценить трудно, поскольку они не являются общедоступными: для доступа требуется специальное программное обеспечение или покупка лицензии. Во многих случаях образовательные ресурсы – это просто размещенные в сети книги.

Образовательный ресурс, о котором идет речь в данной статье, выгодно отличается от других. Его достоинствами являются

- ✓ **Настоящая интерактивность**
- ✓ **Богатый иллюстрационный материал**
- ✓ **Современные методы анализа**
- ✓ **Большой спектр веществ и реакций**
- ✓ **Элементы зеленой химии**

Еще два достоинства нужно подчеркнуть особо – ресурс будет доступен на русском языке, а доступ к данному сайту бесплатен.

В настоящее время существуют и доступны по адресу [www.oc-praktikum.de](http://www.oc-praktikum.de) немецкая, английская и итальянская версии нового органического практикума. С завершением редактирования перевода на этом же сайте появится русская версия. Кроме того, зеркальный сайт практикума будет открыт на базе химического факультета [www.chem.msu.ru](http://www.chem.msu.ru) и Научно-образовательного центра «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» [www.greenchemistry.ru](http://www.greenchemistry.ru) в декабре 2007 – январе 2008 года.

На рисунке 1 показано, как выглядит первая страница сайта.

По ссылкам можно попасть на различные разделы сайта, например, в раздел «Эксперименты», в богатую базу данных по веществам, в раздел «Методики», наконец, в раздел, описывающий принципы устойчивого развития и их реализацию в курсе органической химии. Имеется также глоссарий.

Все вещества, которые используют в данном практическом курсе, как исходные, так и продукты, можно найти и названию, и по каталожному номеру. Например, на странице, посвященной каждому из используемых веществ, можно найти практически все

данные о веществе, которые необходимо знать студенту: Название, синонимы, №CAS, Молекулярная формула, масса, Топология, объем, поверхность, Хиральность, потенциал, Класс опасности: допустимая концентрация в воздухе, класс загрязнения воды, символы опасности, и многое другое. По ссылке можно открыть картинку, представляющую собой 3Д модель вещества, и узнать много дополнительных сведений о нем. В базе содержатся данные о более чем 350 веществах, включая растворители.

Также подробно представлено описание методик синтеза. Со странички, представляющей схему реакции и описание метода синтеза можно перейти в раздел оборудования, а кроме того, по ссылке можно перейти к схематическому изображению блок-схемы синтеза, и также по ссылке перейти на страницы веществ, используемых в синтезе, и уточнить данные об этих веществах. Также по ссылке можно попасть в раздел анализа.

Очень подробно представлено все оборудование, задействованное в каждом синтезе. На соответствующей странице приведены изображения всего необходимого оборудования, и изображения увеличиваются, чтобы их было легко рассмотреть.

В Новом органическом практикуме очень подробно представлен раздел Анализ. Значительное внимание уделено мониторингу реакции с использованием методов тонкослойной и газовой хроматографии, а при необходимости и других методов анализа. Как правило, для каждого синтеза приведены картинки и таблицы анализа исходных веществ и продуктов, как неочищенных, так и очищенных, методами ЯМР и ИК-спектроскопии, газожидкостной и тонкослойной хроматографии и другими. Думаю, что этот раздел особенно полезен для тех университетов, в которых есть проблемы с обеспечением современных методов анализа. В МГУ на ежегодной студенческой конференции «Ломоносов» жюри часто отмечает, как блестящим студентам из нестоличных городов приходится буквально изобретать велосипед: работы поставлены очень интересно, но проблемы с анализом снижают ценность полученных результатов или приводят к большим потерям времени на изобретение обходных путей анализа. Вот для небольших университетов, в которых трудно обеспечить студентам современные условия проведения практикума,

например, дорогостоящее аналитическое оборудование, и будет особенно интересен этот Интернет-ресурс.

Большим преимуществом практикума является наличие в каждом синтезе раздела, посвященного утилизации и рециклу отработанных продуктов. В структуре практикума имеются части, в которых перечислены способы утилизации отходов различной степени опасности, и возможные пути рецикла, особенно это касается растворителей. Приведено также описание законодательства, посвященного утилизации отходов (в Германии). В каждом синтезе приведена таблица, в которой описаны пути утилизации отработанных веществ, включая побочные продукты. И затем имеется специальный раздел, в котором отдельные синтезы оцениваются с точки зрения их приемлемости для экономики, экологии. В этом разделе проводится анализ того, какие в литературе имеются данные о токсичности исходных веществ и продуктов для человека и природы, насколько легко они разлагаются в природе, насколько велики энергозатраты при синтезе и выделении продукта. На основании этого анализа реакциям присваиваются оценки Красный, желтый или зеленый свет. Зеленый свет присваивается благоприятным с экологической и экономической точки зрения реакциям. В основном такие реакции представляют собой экстракцию целевого продукта из природных источников, например, экстракцию тримиристина из мускатного ореха. Кроме того, оценку многих синтезов предложено сделать самим студентам, в основном на основании тех знаний, которые они получают при освоении данного практикума.

В практикуме уделяется большое значение пиктограммам. Так, пиктограммы приведены не только для обозначения степени токсичности продуктов, но и чтобы обозначить некоторые ключевые положения зеленой химии применительно к синтезу.

Большое внимание в данном практикуме уделено оценке энергетической эффективности процессов. Имеется раздел, в котором с помощью электросчетчиков измеряют энергию, потребляемую в синтезе с использованием различных методов нагревания – масляной бани, электроплитки, микроволнового устройства. Как видно из следующего слайда, наиболее энергетически эффективно микроволновое нагревание. Однако его осуществление требует специального оборудования. Описание такого оборудо-

дования приведено в практикуме, а, кроме того, имеется специальный раздел с описанием синтезов, проводимых в микроволновых условиях, включая экстракцию. Причем в практикуме имеются также классические варианты тех же синтезов.

Что касается классических видов нагрева, при помощи ИК съемки в практикуме наглядно показано, что электроплитка имеет преимущества перед масляной баней. Для иллюстрации приведена соответствующая картинка.

Подводя итог, можно сказать, что новый органический практикум – это удобный в пользовании инструмент, обладающий свободной формой подачи материала, привлекательный для современной молодежи. Особенно хочется подчеркнуть, что немецким коллегам удалось привлечь достаточную материальную поддержку для обеспечения бесплатного доступа к этому ресурсу.

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ СИМПОЗИУМ «ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ ХИМИКОВ»**

*Статья с небольшими изменениями опубликована в журнале «Теоретическая и прикладная экология» № 1, 2007 г.*

23–28 сентября в Москве состоялся XVIII Менделеевский съезд по общей и прикладной химии, посвященный 100-летию Менделеевских съездов. XVIII Менделеевский съезд открывает серию научных мероприятий, приуроченных к празднованию в 2009 году 175-летия со дня рождения Д.И. Менделеева. В программе съезда были предусмотрены заседания 9 секций, 5 сателлитных симпозиумов, 2 круглых стола. Один из сателлитных симпозиумов Съезда – это Международный симпозиум «Зеленая химия, устойчивое развитие и социальная ответственность химиков». Руководители этого симпозиума – академик *В.В. Лунин* и чл.-корр. РАН *Н.П. Тарасова*. Симпозиум вызвал большой интерес в научной среде. В организационный комитет подали заявки на доклады около 100 российских и более 20 иностранных ученых. В программе было предусмотрено всего три заседания, поэтому, естественно, часть сообщений была представлена на стендовой сессии. Тематика докладов самая разнообразная – от образовательных проблем (Этика преподавания химии в 21-м веке, проф. *Петросян В.С.*, Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова), Знания в области химии окружающей среды как фактор повышения социальной ответственности, к.т.н. *Кузнецов В.А.*, Институт химии и проблем устойчивого развития РХТУ им. Д.И. Менделеева и др.), до сельскохозяйственных (Новые набухающие гидрогели для озеленения пустынь, к.х.н. *Асмадинов А.О.*, Комплексный институт естественных наук АН РУзККО; Перспективы реализации проектов по снижению эмиссии парниковых газов на животноводческих комплексах Республики Марий Эл, д.х.н. *Ившин В.П.*, ГОУ ВПО «Марийский государственный университет»).

Можно выделить группу докладов, посвященных химии и применению гуминовых веществ (Дизайн «Зеленых» химикатов и биоматериалов с заданными свойствами на основе гуминовых веществ, д.х.н. Перминова И.В., Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Оптимизация процессов фотоиндуцированного биоразложения устойчивых ксенобиотиков в водных средах, в том числе с участием гуминовых веществ, к.х.н. Чайковская О.Н., Томский государственный университет, и др.).

Новый подход к препаративному окислению органических соединений – озонлиз в сверхкритическом диоксиде углерода – представил в своем докладе Д.А. Леменовский (с соавторами), представляющий Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова и Институт проблем лазерных и информационных технологий (Троицк Московской области). Изучен озонлиз димера циклопентадиена и о-изопрониланилина. Показано образование в первом случае полимерного озонида, причем разнесенные в пространстве кратные углерод-углеродные связи в димере циклопентадиена реагируют независимо и неизбирательно. Во втором случае реакция протекала многоступенчато, причем растворитель является полноценным реагентом, позволяющим получить в качестве основного продукта о-ацетилфенил-изоцианат.

Несколько докладов было посвящено детоксикации фосфорорганических отходов (Колбановский Ю.А. и др., Экологически безопасное уничтожение реакционных масс детоксикации фосфорорганических отходов); Синяшин О.Г. с соавторами, «Направленный синтез и разработка высокоэффективных технологий получения фосфорорганических соединений на основе элементарного фосфора»). Причем в первом докладе сделан упор на разложение опасных отходов, а во втором – на получение на базе фосфорсодержащих соединений новых труднодоступных продуктов, например, фосфинов и неорганических кислот фосфора, органических производных кислот фосфора, функционализированных фосфорорганических олигомеров и полимеров и др.

Вообще оценка состава и путей трансформации в окружающей среде химических отходов привлекла большое внимание участников симпозиума. Перспективные направления зеленой химии представлены работами в области «Зеленого» органического синтеза (П. Тундо, Италия, Зеленые реагенты, зеленые ка-

тализаторы и новые условия реакций; А.А. Додонова, Н.П. Тарасова, РХТУ им. Д.И. Менделеева, «Зеленая химия фосфора и его соединений» и многие другие).

На симпозиуме в полную силу звучали вопросы социальной ответственности химиков в современном мире. Так, проф. Хей Алестер (Университет Лидса, Великобритания) выступил с секционной лекцией «Для добра или для зла: этические проблемы для химиков». В ней он описал новую образовательную программу для химиков, организованную совместно ИЮПАК и Организацией по запрещению химического оружия. Профессор Хей подчеркнул, что химия, как монета, имеет две стороны: с одной стороны, она снабжает современный мир огромным количеством необходимых веществ и товаров, включая лекарства, пищевые продукты, чистую воду и др. С другой стороны, она вызвала к жизни химическое оружие, которое теперь приходится уничтожать, что вызывает риски для окружающей среды. Химикам, которые будут заниматься этой важной проблемой, необходимы специальные знания, которые призвана дать новая образовательная программа.

Проф. Лерман Зафра (Колледж Колумбия, Чикаго, США) выступила с докладом «Устойчивость: грядущие вызовы для студентов настоящего». В нем она осветила социально-политические проблемы, вызванные высокой концентрацией ископаемых топлив в Ближневосточном регионе, и высказала мнение о том, что развитие альтернативной энергетики может снять политическую напряженность в этом взрывоопасном районе мира. Уже сейчас есть примеры успешного сотрудничества между учеными из таких противостоящих друг другу стран, как Израиль и Палестина.

Профессор П.Махаффи (Королевский университетский колледж, Эдмонтон, Канада) в своем докладе представил компьютерные программы, направленные на формирование у студентов правильного понимания природы и последствий глобального изменения климата.

Представитель Королевского химического общества Великобритании Дж.Дж.Е. Харди еще раз подчеркнул в своей лекции, что самыми насущными проблемами для химии будущего станут вопросы энергетики и водоснабжения, наряду с уже осознанной проблемой изменения климата. Вопросы энергетики и водоснаб-

жения были рассмотрены в этой презентации с точки зрения химии, причем основное внимание уделено фотогальваническим элементам, улавливанию и хранению углерода, мониторингу и обработке воды.

В докладе Тарасовой Е.Н. с соавторами «Проблема СОЗ в озере Байкал и Байкальском регионе» проведена оценка состояния уникальной наземной геосистемы Байкальского региона в системе атмосфера – почва – продукты питания – человек. Исследования показали, что содержащиеся диоксины и родственных соединений в биоте озера небезопасно как для экосистемы озера, так и для здоровья человека при потреблении байкальской рыбы. Концентрации ПХБ в грудном молоке жительниц поселка Онгурен сравнимы с уровнями, найденными в молоке жительниц Серпухова, работавших на трансформаторном заводе.

По своей тематике, составу участников и глубине охвата насущных проблем симпозиум «Зеленая химия, устойчивое развитие и социальная ответственность химиков» стал знаковым событием в российской науке и образовании.

Тематика зеленой химии звучала, конечно, и на других секциях Менделеевского съезда. Задача внедрения идей и подходов зеленой химии в образовательный процесс представляется чрезвычайно важной в мировоззренческом и социальном аспектах. Так, на секции – **Химическое образование** (Руководители – академик *П.Д. Саркисов*, академик *В.В. Лунин*) был представлен доклад Б.Кенига и Е.Локтевой «Новый органический практикум – «зеленый» подход в практикуме по органической химии», в котором описаны принципы действия и достоинства нового бесплатного образовательного ресурса – Интернет-сайта «Новый органический практикум» ([www.oc-praktikum.de](http://www.oc-praktikum.de)). Этот Интернет-сайт доступен в настоящее время на немецком, английском и итальянском языках, но уже делается и вскоре будет представлен русский перевод.

Таким образом, идеи зеленой химии значимо прозвучали в тематике Менделеевского съезда.

**Образовательная магистерская программа**  
**«ХИМИЯ В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ»**

**Аннотация**

*Научный руководитель программы – академик РАН Лунин В.В.*

**Присваиваемая квалификация:** *магистр химии.*

**Требования для поступления:** Лица, желающие освоить основную образовательную программу подготовки *магистра химии по профилю «Химия в интересах устойчивого развития»*, должны иметь высшее профессиональное образование первого уровня ВПО, подтвержденное документом государственного образца.

Лица, имеющие диплом бакалавра наук по направлению подготовки 5105000 – химия, зачисляются на основную образовательную программу подготовки магистра наук в химии в интересах устойчивого развития на конкурсной основе. Условия конкурсного отбора определяются МГУ.

Лица, имеющие диплом бакалавра наук по иным направлениям подготовки, допускаются к конкурсу по результатам испытаний в объеме требований к выпускному государственному экзамену бакалавра наук по направлению подготовки 5105000 – химия.

**Образовательные и профессиональные цели обучения:**

Инновационная образовательная магистерская программа «Химия в интересах устойчивого развития» обеспечивает формирование профессиональных компетенций и навыков будущего магистра в одном из важнейших направлений химической науки, представляющем совершенно новый подход к химии и химической технологии – химии в интересах устойчивого развития, или зеленой химии.. Программа направлена на подготовку и обучение химиков разного профиля и специалистов в области биологии, медицины, химической технологии новому подходу к химии как к науке, способной обеспечить производство и потребление химических продуктов таким образом, чтобы максимально снизить ущерб, наносимый природе на всех стадиях химического процесса, начиная от потребления энергии и заканчивая утилизацией

отходов. Такой подход позволит обеспечить земной цивилизации устойчивое развитие в части, связанной с производством и использованием искусственных химических продуктов, а это одна из крупнейших групп потребляемых веществ.

Магистрант получит представление химии в интересах устойчивого развития как о новом подходе к планированию и осуществлению химических реакций и химических процессов. Он узнает о том, что на стадии планирования эксперимента необходима оценка не только целевых химических свойств будущего продукта, но и оценка экологических рисков, связанных с его сопутствующими свойствами, такими как токсичность для человека и биосферы, период разложения в природе, направления разложения в природе, токсичность вторичных продуктов. При создании технологии производства химических продуктов также необходимо оценить источники и потребности в энергии для различных способов осуществления данной технологии, а также экономические затраты на утилизацию отходов, и оценить экологические риски, связанные с производством энергии и утилизацией отходов.

Магистрант получит знания о количественных методах оценки химических процессов с точки зрения устойчивого развития, таких, как атомная эффективность и E-фактор, а также экономические показатели.

Магистрант должен освоить принципы химии в интересах устойчивого развития, включая использование «зеленых», то есть безвредных для природы, растворителей взамен органических, проведение реакций в отсутствие растворителя, применение каталитических процессов вместо стехиометрических там, где это возможно, мониторинг проходящих процессов на всех стадиях осуществления. Магистрант усвоит основные направления конструирования «зеленых» процессов, включающие сокращение числа стадий самого химического процесса и стадий очистки и выделения, замена реакций с участием тяжелых металлов на более безопасные, замена реакций по снятию-удалению защиты на более современные.

Магистрант должен усвоить навыки проведения каталитических реакций в широком интервале условий, работы с растворителями в сверхкритических условиях, проведения химических ре-

акций нетрадиционными способами, при высокоэнергетических воздействиях, в условиях механохимической и СВЧ-активации.

Магистрант познакомится с современными методами анализа химических веществ, в том числе высокотоксичных.

Магистрант должен усвоить основы токсикологии химических продуктов и экотоксикологии, научиться оценивать промышленные риски, возникающие в процессах производства и применения химических продуктов.

Магистрант должен получить базовые познания в методике преподавания химии в интересах устойчивого развития и способов введения элементов этого подхода в базовые химические курсы, читаемые на химических и химико-технологических факультетах классических университетов и в других вузах химической направленности.

Магистрант должен получить навыки компьютерного анализа в процессах проведения химических реакций, при анализе продуктов, при экомониторинге и в токсикологии.

Магистрант должен получить твердые знания о социальном и политическом значении концепции устойчивого развития и роли химии в интересах устойчивого развития в осуществлении устойчивого развития на земном шаре и в условиях России. Магистрант должен познакомиться с мировым опытом в области химии в интересах устойчивого развития.

Отличительной чертой подготовки магистров по направлению «химия в интересах устойчивого развития» составляет тесная связь с исследовательскими работами, которые проводятся в Научно-образовательном центре «Химия в интересах устойчивого развития» в области катализа, зеленых растворителей, нетрадиционных методов осуществления химических реакций на самом современном оборудовании для проведения таких исследований и анализа продуктов. Магистрант обязательно должен участвовать в научно-исследовательской работе центра и связанных с ним лабораторий в нашей стране или за рубежом.

**Примерный учебный план**  
**образовательной магистерской программы «Химия в интересах устойчивого развития»**  
*(учебный план сделан на основе действующего ГОС ВПО*  
*по направлению подготовки 510500 –«Химия»)*

<b>II. Программа специализированной подготовки магистра</b>										
Индекс	Наименование дисциплин (в том числе практик)	Трудоёмкость в кредитах	Всего часов			Распределение по семестрам				Форма итогового контроля зач./экз.
			Трудоёмкость по ГОС	из них		9 18 нед.	10 13 нед.	11 18 нед.	12 13 нед.	
				ауд. занятия	самостоят. работа					
ДНМ	<b>Дисциплины направления магистров</b>	<b>11</b>	<b>330</b>							
ДНМ.Ф	<i>ДНМ федеральная компонента</i>	3	90							
ДНМ.Ф.1	Химия и токсикология окружающей среды	3	90	60	30	2	2			Зач., экз
ДНМ.Ф.2	Философские проблемы естествознания	3	90	30	60			2		Экз
ДНМ.Ф.3	Иностранный язык	3	90	60	30	2	2			2 зач.
ДВМ	Дисциплины по выбору	2	60							
СД	<b>Специальные дисциплины</b>	<b>37</b>	<b>1110</b>							
СД.Ф	<i>СД федеральная компонента</i>	3	90							

Продолжение таблицы

Индекс	Наименование дисциплин (в том числе практик)	Трудоемкость в кредитах	Всего часов			Распределение по семестрам				Форма итогового контроля зач./экз.
			Трудоемкость по ГОС	из них		9	10	11	12	
				ауд. занятия	самостоят. работа	18 нед.	13 нед.	18 нед.	13 нед.	
<b>СД.Ф.1</b>	Устойчивое развитие и роль химии в его осуществлении	3	90	60	30		2	2		зач.
<b>СД.Ф.2</b>	Техногенные системы и экологический риск	7	210	72	138	3				зач., экз.
<b>СД.Ф.3</b>	Традиционные и нетрадиционные источники энергии	8	240	65	175		5			экз.
<b>СД.Ф.4</b>	Теоретические основы гетерогенного катализа	9	270	90	180			5		зач., экз.
<b>СД.Ф.5</b>	Методы реализации зеленых процессов	6	180	54	126	1		2		зач., экз.
<b>СД.Ф.6</b>	Дисциплины по выбору	4	120							
<b>НИР</b>	<b>Научно-исследовательская работа</b>	<b>48</b>	<b>1440</b>							
<b>НИР.1</b>	Научно-исследовательская работа в семестре и педагогические практики	18	540							

<b>НИР.2</b>	Подготовка магистерской диссертации	30	900							
<b>ИГА</b>	Защита выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации)	24	<b>720</b>							ГАК
<b>Подготовка магистра</b>		120	<b>3600</b>							
<b>ВСЕГО (включая подготовку бакалавра)</b>		<b>360</b>	<b>10800</b>							

**ПРИМЕЧАНИЕ:**

1. Настоящий примерный учебный план используется учебными заведениями при составлении своего рабочего учебного плана по направлению 510500 – химия. В рабочем учебном плане рекомендуется сохранять позиции, указанные в примерном учебном плане для первых двух лет обучения.

2. План составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки магистра по направлению 510500 – химия.

Председатель Учебно-Методического Совета  
по химии УМО университетов РФ  
академик РАН, профессор В.В. ЛУНИН

**Программа дисциплины**  
**«УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И РОЛЬ ХИМИИ**  
**В ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИИ»**

*Название курса* Устойчивое развитие и роль химии в его осуществлении

*Код курса* М.П.

*Тип курса* Профильный компонент

*Год обучения* 5 год

*Семестр* 10

*Количество кредитов* 3

## **I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

### **Обеспечиваемые компетенции**

В результате освоения курса магистрант должен иметь прочные знания о социальной и политической составляющей устойчивого развития, основных направлениях осуществления концепции устойчивого развития, мировом и национальном опыте действий в этом направлении. Магистрант должен усвоить ключевую роль химии в осуществлении устойчивого развития, научиться различать задачи экологической химии и химии в интересах устойчивого развития, получить компетенцию в оценке экологических загрязнений и способов снижения экологической нагрузки в результате перехода на принципы химии в интересах устойчивого развития. В результате обучения магистрант должен знать основные группы химических отходов, образующихся в химических и других промышленных процессах и при производстве энергии, и получить базовые знания о путях возможной ликвидации производства этих отходов методами зеленой химии. Магистрант должен получить базовые знания о тех зеленых технологических процессах, которые уже внедрены в практику, и научиться предвидеть пути перехода к зеленым процессам в других областях промышленности, с упором на национальные особенности российской промышленности.

**Цель курса** – овладение магистрантами теорией устойчивого развития и технологиями его осуществления средствами, доступными химической науке.

### **Задачи курса:**

Дать базовые знания о социальном и политическом аспектах устойчивого развития и понимание ключевой роли химии в его осуществлении.

Ознакомить с составом, свойствами, объемами производства и местами локализации антропогенных химических загрязнений. Ознакомить с существующими способами их утилизации и хранения.

Ознакомить с общими принципами перехода от утилизации загрязнений к прекращению их производства путем перехода к «зеленым» химическим процессам в химической, нефтехимической и других отраслях промышленности, в том числе при производстве энергии, а также в лабораторной практике.

Дать теоретические и практические знания по существующим способам осуществления «зеленых» процессов, в том числе использованию биомассы вместо ископаемого сырья, замене органических растворителей на «зеленые», каталитическим методам, особенно в применении к основному и особенно тонкому органическому синтезу. Дать рациональные критерии «зеленого» процесса.

Познакомить с существующими методиками введения основ подхода, характерного для химии в интересах устойчивого развития, в общие образовательные курсы химических дисциплин: органической, неорганической, общей, аналитической химии и др.

### **Место курса в процессе подготовки магистра**

Курс «Устойчивое развитие и роль химии в его осуществлении» связывает социальные, политические, географические и другие аспекты проблемы устойчивого развития с ее химическими аспектами. Курс методологически взаимосвязан с курсами «Химия и токсикология окружающей среды», «Философские проблемы естествознания», и служит подстилающим для других научно-профилированных курсов магистерской программы, таких как «Методы реализации зеленых процессов» и «Нетрадиционные источники энергии».

## II. СОДЕРЖАНИЕ

### Введение

История проблемы устойчивого развития. Доклад Д. Медоуза «Пределы роста». Совещание в Йоханнесбурге. Политическое оформление идеи устойчивого развития. Образование для осуществления устойчивого развития. Европейская стратегия образования для устойчивого развития. Устойчивое развитие в контексте экономических и политических реалий России.

### **Взаимосвязь химии и устойчивого развития и основные понятия и задачи химии для осуществления устойчивого развития**

Содержание проблемы устойчивого развития. Социальный, политический, экологический аспект. Ключевая роль химии в осуществлении устойчивого развития. Различия между экологической химией и химией в интересах устойчивого развития. Роль образовательных учреждений в распространении идей устойчивого развития и химии в интересах устойчивого развития.

Связь экологии и химии. Принципы утилизации загрязнений. Способы оценки степеней загрязнения. Экологические стандарты для основных продуктов химии и нефтехимии. Отечественные и зарубежные стандарты. Химическая обработка муниципальных загрязнений. Экономические и химические принципы утилизации отходов. Проблема парниковых газов в связи с избыточным производством метана на мусорных полигонах. Нефтедобыча и нефтепереработка как источники экологических рисков. Химические принципы ликвидации разливов нефтепродуктов и аварий на нефтехимических производствах. Принципы перехода от утилизации загрязнений к «зеленым» процессам в химии. Основные принципы Зеленой химии. Основные критерии «зеленого» процесса.

Экологически чистые процессы в областях промышленности: производство энергии, новые зеленые продукты, использование сверхкритических сред, использование катализаторов, циклические технологии и др. Примеры процессов в обычном и «зеленом» варианте, анализ их преимуществ и недостатков.

## **Практические примеры осуществления «зеленых» процессов**

Примеры внедрения «зеленых» процессов в мировой промышленности: использование сверхкритических растворителей компанией Tomas Swan, получение растворимого кофе, применение «зеленых» растворителей в процессах химической чистки и др. Возобновляемое сырье. Возобновляемое и ископаемое сырье и проблема парниковых газов.

Методики введения элементов химии в интересах устойчивого развития в образовательные программы в области химии. Элементы зеленой химии в основных курсах органической, неорганической, аналитической и общей химии, в практикумах по неорганической и органической химии.

### **Перечень практических заданий**

Анализ политических документов по проблеме устойчивого развития.

Сопоставление целей, задач и методов экологической химии и химии в интересах устойчивого развития.

Системный анализ структуры и характера загрязнений конкретного предприятия химической промышленности на основе опубликованных данных.

Системный анализ структуры и характера загрязнений конкретного предприятия нефтехимической промышленности на основе опубликованных данных.

Составление схемы полигона для хранения бытовых или промышленных отходов. Изучение схемы утилизации биогаза на таких полигонах.

Сопоставление отечественных и зарубежных экологических нормативов на примере бензина, органического растворителя.

Анализ продолжительности естественного разложения для некоторых видов отходов. Преимущественно на примере пластмасс.

Анализ структуры нефтехимического завода и составление перечня экологических рисков.

Составление перечня типов пластических масс, для которых существует возможность замены на биоразлагаемые.

Анализ структуры стандарта на загрязнение.

Сопоставление теплотворной способности дизельного топлива и биодизеля.

Изучение состава отходов ТЭЦ на примере технологической схемы.

Анализ сходных процессов с использованием органических и сверхкритических растворителей (на примере экстракции, чистки или химического получения продуктов).

Анализ одной из задач практикума по органической химии на предмет экологического риска. Формирование предложений по снижению этого риска.

### **Перечень примерных контрольных вопросов для работы на семинарах и выполнения практических заданий**

Происхождение термина «устойчивое развитие».

Назовите ключевые политические документы, принятые мировым сообществом по проблеме устойчивого развития, и кратко охарактеризуйте их смысл и значение.

Что такое «зеленая» химия. Является ли она предметом или подходом. В чем различия экологической химии и химии в интересах устойчивого развития. Назовите 12 принципов «зеленой» химии.

Назовите наиболее масштабные химические загрязнения, производимые человечеством. Назовите меры, которые уже применяются и можно применять для снижения масштабов или прекращения таких загрязнений. Расскажите об основных парниковых газах. Охарактеризуйте диоксид углерода, метан с точки зрения парникового эффекта. Расскажите о способах утилизации метана, образующегося на мусорных полигонах.

Охарактеризуйте состав и свойства пластмасс, формирующих основные загрязнения. Назовите и кратко охарактеризуйте направления замены пластмасс на биоразлагаемые аналоги. Охарактеризуйте известные биоразлагаемые пластмассы.

Назовите возможные способы, позволяющие сделать химические процессы более «зелеными». Назовите известные вам «зеленые» растворители. Приведите примеры их использования в лабораторной практике и в промышленности. Назовите критерии «зелености» процесса.

Охарактеризуйте возможные направления применения биомассы в качестве сырья для химической и нефтехимической промышленности. Какие еще способы использования биомассы Вы можете предложить.

Охарактеризуйте роль катализа в замене обычных процессов на «зеленые». Приведите примеры «зеленых» каталитических процессов. Охарактеризуйте роль каталитических реакций в основном и тонком органическом синтезе. Укажите направления, в которых развитие каталитических процессов принесет наибольший эффект.

Приведите примеры промышленного осуществления «зеленых» процессов.

Охарактеризуйте загрязнения, образующиеся в процессе лабораторного осуществления химических процессов (на примере одной из задач практикума по органической химии для студентов химического факультета). Предложите пути снижения этих загрязнений.

### **Примерная тематика заданий для самостоятельной работы и рефератов**

1. Устойчивое развитие в документах международных организаций
2. Роль химии в осуществлении устойчивого развития.
3. Прогноз Д. Медоуза в докладе «Пределы роста» и современное состояние Земли.
4. Возобновляемое сырье для химии.
5. Возобновляемое сырье для нефтехимии.
6. Производство биодизеля в крупном и мелком масштабе.
7. Каталитические процессы в производстве фармацевтических препаратов.
8. Сравнение атомной эффективности процессов нефтехимии и тонкого органического синтеза.
9. Катализ как метод химии в интересах устойчивого развития (на примере одного крупномасштабного процесса).
10. Процесс с участием сверхкритического растворителя (на конкретном примере).
11. Биоразлагаемые пластмассы: сырье, способы получения, применение.

12. Сравнение традиционного и нетрадиционного химического процесса (механохимического, СВЧ, в сверхкритическом растворителе, и т.п.).

13. Парниковый эффект и химические способы его снижения.

### III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ КУРСА ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ

№ п.п.	Наименование тем и разделов	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (лекции, семинары)	Самостоятельная работа
1	Введение	12	8	4
2	Взаимосвязь химии и устойчивого развития и основные понятия и задачи химии для осуществления устойчивого развития.	48	32	16
3	Практические примеры осуществления «зеленых» процессов	30	20	10
	ВСЕГО часов	90	60	30
	ВСЕГО кредитов	3		

### IV. ФОРМА ИТОГОВОГО ОТЧЕТА

**Зачет по курсу**

### V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА

#### Литература

##### Основная

1. Green Chemistry, Theory and Practice, P. Anastas, J.C. Warner, Eds.; Oxford University Press: Oxford, 1998.

2. Зеленая химия в России. Сб. статей. Под ред. В.Лунина, П.Тундо, Е.Локтевой. Изд. Моск. Ун-та, 2005.

3. Введение в теорию устойчивого развития. М., Ступени, 2002. – 240 с.

4. Путилов А.В, Копреев А.А., Петрухин Н.В. Охрана окружающей среды. М.: Химия, 1991.

5. Доклад комиссии Гру Харлем Брундтланд «Наше общее будущее» 1987 г.

6. Россия в окружающем мире: 2005. Аналитический ежегодник. Отв. Ред. Н.Н. Марфенин. М., Модус-К-Этерна, 2006. 320 с.

7. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс И. За пределами роста: Учеб. пособие. М.: Прогресс, Пангея, 1994.

8. Ягодин Г.А. и др. Химия и химическая технология в решении глобальных проблем. М.: Химия, 1988.

9. Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Н.Г. Залогина и др. М., 1979.

#### **Дополнительная**

Журнал «Химия в интересах устойчивого развития», изд. СО РАН

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния среды. М.: Гидрометеиздат, 1984.

Скуратов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1994. 400 с

Экология: охрана природы и экологическая безопасность: Учеб. пособие: В 2 т. / Под ред. В.И. Данилова-Данильяна. М.: МНЭПУ, 1997. 744с.

Интернет-сайт [www.greenchemistry.ru](http://www.greenchemistry.ru)

Интернет-ресурс [www.oc-praktikum.de](http://www.oc-praktikum.de)

#### **Оборудование, материалы и программное обеспечение**

Мультимедийный проектор

Экран

Ноутбук

Доступ в Интернет

#### **Программу составили:**

**Е.С. Локтева**, к.х.н., с.н.с.

**Е.В. Голубина**, к.х.н., н.с. (Московский государственный университет)

#### **Рецензенты:**

Проф. Симагина В.И. (Новосибирский государственный университет)

Проф. Третьяков В.Ф. (Московская Академия тонких химических технологий им. М.В. Ломоносова)

## **Программа дисциплины «ТЕХНОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ РИСК»**

*Название курса* Техногенные системы и экологический риск

*Код курса* М.П.2

*Тип курса* Профильный компонент

*Год обучения* 5 год

*Семестр* 9

*Количество кредитов* 7

### **I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

#### **Обеспечиваемые компетенции**

В результате освоения курса магистрант должен знать и уметь компетентно классифицировать наиболее существенные воздействующие факторы, методы контроля над ними и средства, ограничивающие их воздействия. Магистрант должен получить ключевые представления и освоить методологические подходы, направленные на решение проблем обеспечения безопасного и устойчивого взаимодействия человека с природной средой. Магистрант должен получить навык восприятия окружающей среды как системы, знать и различать глобальные и локальные источники воздействия на окружающую среду. Магистрант должен разбираться в показателях качества окружающей среды и иметь представление о санитарно-гигиеническом нормировании. Он должен иметь компетенции, включающие технологические методы уменьшения объема и очистки сточных и питающих вод, атмосферных загрязнений, твердых и радиоактивных отходов, типовые схемы очистки производственных отходов. Магистрант должен освоить принципы ресурсо- и энергосбережения и комплексного использования сырья в целях осуществления устойчивого развития. Магистрант должен активно освоить принципы оценки риска путем количественного определения разнородных опасностей и сравнения их между собой в единой шкале, ранжирования опасностей, выявления приоритетных направлений снижения риска. Магистрант должен получить навык использования

методологии оценки риска как основы прогнозирования опасного развития и принятия решений.

**Цель курса** – получение и последующее применение студентами ключевых представлений и методологических подходов, направленных на решение проблем обеспечения безопасного и устойчивого взаимодействия человека с природной средой.

### **Задачи курса:**

Дать магистранту представления об окружающей среде как системе, развивающейся во времени и испытывающей воздействие разнородных природных и антропогенных источников.

Рассмотреть роль техногенных систем в проблеме безопасного развития общества, при этом выделить кратковременные и долгосрочные воздействия на окружающую среду при систематических и аварийных выбросах.

На основе изложенных принципов дать классификацию и описание наиболее существенных воздействующих факторов, методов контроля за ними и средств, ограничивающих их воздействие.

Научить магистрантов принципам современной методологии количественной оценки различных опасностей, анализа и управления риском.

### **Место курса в процессе подготовки магистра**

Настоящий курс тесно связан с курсами «Устойчивое развитие и роль химии в его осуществлении», «Химия и токсикология окружающей среды», «Методы реализации зеленых процессов». Он формирует конкретные представления на основе базовых знаний курса «Устойчивое развитие и роль химии в его осуществлении» о методологии решения проблем обеспечения безопасного и устойчивого взаимодействия человека с природной средой путем количественной оценки, разработки и использования путей снижения экологических рисков в процессе производства и применения химических веществ.

## II. СОДЕРЖАНИЕ

### **Введение**

Цель и задачи курса, его структура.

Безопасность или защита человека и окружающей среды, обеспечение устойчивого развития цивилизации – важнейшая проблема современности; ее многоплановость. Проблема количественной оценки разнородных опасностей.

Значение курса «Техногенные системы и экологический риск» в университетском образовании для формирования экологического мировоззрения химиков-исследователей.

Основная и дополнительная литература; другие источники информации.

### **Окружающая среда как система**

Атмосфера, гидросфера, литосфера – основные компоненты природной среды. Законы и принципы функционирования биосферы.

Защитные механизмы природной среды и факторы, обеспечивающие ее устойчивость. Динамическое равновесие в природной среде. Гидрологический цикл, круговорот энергии и вещества, фотосинтез.

Условия и факторы, обеспечивающие безопасную жизнедеятельность человека в природной среде. Естественные «питательные» циклы, механизмы саморегуляции, самоочищение биосферы. Опасные природные явления; параметры опасных природных явлений и оценка риска чрезвычайных ситуаций.

Климат. Современные климатические модели – основа оценки и прогноза глобальных изменений состояния окружающей среды.

Социальная компонента понятия окружающей среды.

### **Антропогенные воздействия на окружающую среду**

Развитие производительных сил и рост народонаселения – важнейшие антропогенные факторы. Взаимосвязь численности народонаселения и потребления ресурсов и энергии. Техногенные системы: определение, классификация.

Воздействие техногенных систем на человека и окружающую среду. Масштаб современных и прогнозируемых техногенных

воздействий на окружающую среду в концепции устойчивого развития. Основные загрязнители почвы, воздуха, воды; их источники: промышленные предприятия, электростанции, транспорт, сельское хозяйство.

Глобальные экологические проблемы: климатические изменения, разрушение озонового слоя, загрязнение природных вод органическими веществами и др.

Диагностика и эффективный химико-аналитический контроль объектов окружающей среды.

Экотоксиканты. Методы оценки воздействия. Аддитивное воздействие. Синергизм и антагонизм. Научные основы определения предельно-допустимых концентраций. Пороговая и беспороговая концепции. Экологические последствия загрязнения окружающей среды и проблемы экотоксикологии. Экологический подход к оценке состояния и регулированию качества окружающей среды. Экологическое нормирование. Предельно-допустимая экологическая нагрузка. Зоны экологического риска. Санитарно-гигиеническое нормирование.

Показатели качества окружающей среды. Оценка воздействия на окружающую среду. Токсикология – основа разработки принципов и критериев оценки биологического действия химических загрязнений внешней среды как база создания системы ПДК и методов стандартизации сырья и продуктов. Пути превращения загрязнителей в окружающей среде. Глобальная система мониторинга. Принятие решений на основе метода комплексного анализа различных сред.

### **Основные направления и методы борьбы с загрязнением окружающей среды**

Взаимосвязь проблем экологии и безопасности химических производств.

Технологические методы уменьшения объема сточных вод. Схемы организации оборотного водоснабжения. Методы очистки сточных вод от возбудителей болезней, органических и неорганических веществ, питательных веществ и термальных загрязнений. Переработка жидкофазных отходов, использование ценных компонентов. Комплексная система очистки сточных вод. Озонирование.

Методы очистки атмосферы от газообразных и аэрозольных загрязнителей: абсорбция, адсорбция, конденсация, каталитическая нейтрализация, дожигание. Улавливание аэрозолей в скрубберах, фильтрах, электрофильтрах. Очистка от пыли.

Источники твердых отходов; их свойства; городской мусор, ил сточных вод, отходы сельскохозяйственного производства, целлюлоза и бумага, отходы химической промышленности, зола, шлак. Переработка отходов; захоронение. Физико-химические методы очистки. Химическая и биохимическая обработка отходов. Современные биотехнологические методы обезвреживания отходов. Многоступенчатые комплексные системы.

Термические способы обезвреживания. Методы разделения при утилизации отходов.

Типовые схемы очистки производственных отходов. Оборудование. Средства контроля на примере химико-технологических производств. Использование твердых отходов промышленности.

Классификация радиоактивных отходов. Проблемы локализации, консервации, захоронения. Переработка и использование.

Проблемы охраны окружающей среды в процессе сельскохозяйственного производства. Нарушение биологического равновесия в результате применения удобрений и ядохимикатов. Диагностика, методы предотвращения и ликвидации вредных последствий их использования.

### **Место химических производств в концепции устойчивого развития**

Характер и масштабы стационарных и аварийных химических выбросов. Динамика и прогнозы.

Крупномасштабные стационарные выбросы и специфика их воздействия на человека и окружающую среду.

Ресурсо- и энергосбережение и комплексное использование сырья – стратегия решения экологических проблем. Требования к ресурсосберегающей технологии: бессточные технологические системы, использование отходов как вторичных материальных ресурсов, комбинирование производств, создание замкнутых технологических процессов, территориально-промышленный комплексы.

Принципы создания экологически чистых и комплексных малоотходных технологий.

Роль химической технологии в энергосбережении.

Критерии совершенства технологических систем и их связь с воздействием предприятия на окружающую среду. Оптимизация масштаба и размещения химических производств по критериям безопасности. Управление обеспечением экологической безопасности в химической промышленности.

Аварийная ситуация – чрезвычайный фактор воздействия на окружающую среду.

Специфика крупномасштабных экстремальных воздействий. Классификация аварийных ситуаций. Анализ причин возникновения аварий. Оценка последствий.

Надежность оборудования, систем диагностики и управления для обеспечения безопасности химических производств.

### **Принципы обеспечения безопасности человека и окружающей среды**

Основы теории опасностей. Опасное состояние; его параметры. Классификация опасностей. Уровень опасности и методы его оценки. Механизмы опасных воздействий. Шкала опасностей.

Эволюция концепции безопасности – к концепции приемлемого риска. Методология оценки риска. Основные понятия, определения, термины. Индивидуальный и коллективный риск. Уровень риска. Распределение риска среди населения. Восприятие рисков и реакция общества на них.

Методы расчета вероятностей нежелательных событий и ущербов. Определение достаточного количества элементов, вносящих вклад в риск. Сравнение и анализ рисков в единой шкале. Неопределенности в оценках риска. Риски от воздействия нескольких опасностей. Суммарный риск.

События с высокой и низкой вероятностью. Основные подходы к оценке риска крупных аварий с большими последствиями. Долгосрочные эффекты опасных воздействий. Границы применимости методологии оценки риска.

Региональная оценка риска. Критерии социального и экономического развития общества, обеспечивающие устойчивое развитие. Экономический подход к проблемам безопасности. Стойменная оценка риска. Связь уровня безопасности с экономическими возможностями общества.

Основы глобального экологического прогнозирования. Локальный и глобальный прогноз возможных изменений в окружающей среде под влиянием хозяйственной деятельности. Пути предотвращения и минимизации негативного воздействия.

### **Правовые основы обеспечения экологической безопасности**

Конституция России. Экологическое законодательство. Законодательные и нормативные документы.

Методы управления природопользованием. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС), экологическая экспертиза, лицензирование природопользования, сертифицирование, декларирование безопасности опасных промышленных объектов, экологический аудит. Экологическая безопасность и страхование.

### **Перечень практических заданий**

Составить схему динамического равновесия в природной среде (на примере одного типа веществ).

Привести примеры естественных «питательных» циклов, механизмы саморегуляции.

Сопоставить современные климатические модели (на примере двух моделей).

Классифицировать техногенные системы

Составить таблицу основных загрязнителей почвы, воздуха или воды с указанием их источников

На примере одного экотоксиканта предложить методы оценки воздействия.

Привести примеры аддитивного воздействия экотоксикантов.

Привести примеры синергизма и антагонизма экотоксикантов.

Составить карту зон экологического риска для одного региона.

Оценить показатели качества окружающей среды для своего региона.

На примере одного экотоксиканта составить схему превращения в окружающей среде

Составить примерную схему организации оборотного водоснабжения для конкретного предприятия

Предложить методы очистки сточных вод от возбудителей болезней, органических и неорганических веществ, питательных веществ и термальных загрязнений.

Составить сопоставительную таблицу по методам очистки атмосферы от газообразных и аэрозольных загрязнителей: абсорбция, адсорбция, конденсация, каталитическая нейтрализация, дожигание

Сравнить на эффективность и пределы применимости химической и биохимической обработки отходов.

На примере типовой схемы очистки производственных отходов перечислить необходимое оборудование и средства контроля

Составить таблицу классификации аварийных ситуаций.

На примере конкретного производства провести оценки риска с химической позиции и стоимостную оценку риска.

### **Перечень примерных контрольных вопросов для работы на семинарах и выполнения практических заданий**

Что такое динамическое равновесие в природной среде.

Назвать и классифицировать современные климатические модели

Дать определение и классификацию техногенных систем.

Перечислить и охарактеризовать основные загрязнители почвы, воздуха, воды; их источники.

Перечислить примеры экотоксикантов. На примере одного из них охарактеризовать способы оценки воздействия.

Дать определение понятиям аддитивного воздействия, синергизма и антагонизма экотоксикантов.

Привести примеры зон экологического риска в России и в мире. Предложить способы снижения экологического риска в одной из зон.

Охарактеризовать показатели качества окружающей среды.

Назвать пути превращения загрязнителей в окружающей среде. Привести примеры.

Рассказать о принципах очистки сточных вод.

Охарактеризовать возможные способы снижения потребления сточных вод.

Привести схему организации оборотного водоснабжения.

Охарактеризовать принципы утилизации твердых отходов. Предложить на примере способ снижения количества твердых отходов.

Перечислить и классифицировать методы очистки атмосферы от газообразных и аэрозольных загрязнителей. Дать подробную характеристику одного из методов.

Перечислить основные подходы к оценке риска крупных аварий с большими последствиями.

Проанализировать методы расчета вероятностей нежелательных событий и ущербов. Рассказать о методологии оценки риска.

Дать классификация аварийных ситуаций. Провести классификацию предложенной преподавателем аварийной ситуации.

Охарактеризовать принципы создания экологически чистых и комплексных малоотходных технологий. Привести пример.

Перечислить требования к ресурсосберегающей технологии. Привести пример.

Сравнить экологическое законодательство России и Европейское экологическое законодательство. Предложить пути улучшения экологического законодательства России.

Охарактеризовать проблему количественной оценки разнородных опасностей и предложить пути решения.

### **Примерная тематика заданий для самостоятельной работы и рефератов**

Критерии социального и экономического развития общества, обеспечивающие устойчивое развитие

Анализ малоотходной технологии на конкретном примере.

Анализ крупномасштабных стационарных выбросов предприятий на примере конкретного региона.

Анализ типовой схемы очистки производственных отходов (на конкретном примере).

Эволюция экологического законодательства (на примере конкретной страны).

Расчет вероятности нежелательных событий: способы и результаты.

Методы стоимостной оценки риска.

Количественная оценка разнородных опасностей: проблемы и перспективы.

Схемы химической и биологической очистки отходов (на примере конкретного процесса).

Пути превращения загрязнителей в окружающей среде

Восприятие рисков и реакция общества на них

Проблемы локализации, консервации, захоронения радиоактивных отходов

Роль химической технологии в энергосбережении

### III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ КУРСА ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ

№ п.п.	Наименование тем и разделов	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (лекции, семинары)	Самостоятельная работа
1	Введение	12	4	8
2	Окружающая среда как система	33	12	24
	Антропогенные воздействия на окружающую среду	18	12	24
	Основные направления и методы борьбы с загрязнением окружающей среды	18	12	24
	Место химических производств в концепции устойчивого развития	18	12	24
	Принципы обеспечения безопасности человека и окружающей среды	18	12	24
3	Правовые основы обеспечения экологической безопасности	18	8	10
	ВСЕГО часов	210	72	138
	ВСЕГО кредитов	4		

### IV. ФОРМА ИТОГОВОГО ОТЧЕТА

**Зачет по практическому курсу, экзамен по курсу.**

### V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА

#### Литература

##### **Основная**

Демин В.Ф. Научно-методические аспекты оценки риска// Атомная энергия. 1999. № 1.

Быков А.А., Мурзин Н.В. Проблемы анализа безопасности человека, общества, природы. СПб.: Наука, 1997.

Белов П.Г. Теоретические основы системной инженерии безопасности. Киев: Круга, 1997.

Быков А.А. Моделирование природоохранной деятельности. М.: НУМЦ Госкомэкологии России, 1998.

Тинсли И. Поведение химических загрязнителей в окружающей среде. М.: Мир, 1982.

Родионов А.И. и др. Техника защиты окружающей среды: Учеб. 2-е изд. М.: Химия, 1982. 512 с.

Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния среды. М.: Гидрометеиздат, 1984.

Лебедев А.Н и др. Природоохранное законодательство развитых стран. Защита окружающей среды от загрязнений; методы контроля и регулирования. Новосибирск, 1992. Ч. 2.

Корте Ф. и др. Экологическая химия. М.: Мир, 1996.

Скуратов Ю.И., Дука Г.Г., Мизити А. Введение в экологическую химию: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1994. 400 с.

Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995.

Экология: охрана природы и экологическая безопасность: Учеб. пособие: В 2 т. / Под ред. В.И. Данилова-Данильяна. М.: МНЭПУ, 1997. 744 с.

Маршалл В. Основные опасности химических производств. М.: Химия, 1980.

### **Дополнительная**

Ягодин Г.А. и др. Химия и химическая технология в решении глобальных проблем. М.: Химия, 1988.

Экологическая безопасность России. Вып. 1. Материалы Межведомственной комиссии по экологической безопасности (октябрь 1993 – июль 1994). М.: Юрид. лит., 1995.

Брылов С.А и др. Охрана окружающей среды. М.: Высш. шк., 1985.

Реймерс Н.Ф. Концептуальная экология. Надежда на выживание человечества. М.: Россия молодая, 1992.

Савенко В.С. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы / Итоги науки и техники. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. Т. 31. М., 1991.

Шмидхейни С. Смена курса. Перспективы развития и проблемы окружающей среды: подход предпринимателя. М.: Глобальная экореформа, 1994.

Путилов А.В, Копреев А.А., Петрухин Н.В. Охрана окружающей среды. М.: Химия, 1991.

Берлянд М.Е. Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1980.

Энергетика и охрана окружающей среды / Под ред. Н.Г. Залогина и др. М., 1979.

Токсикометрия химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Под ред. А. Каспарова, И. Саноцкого. М.: ЦМП ГКНТ, 1986.

Арский Ю.М., Данилов-Данильян В.И. и др. Экологические проблемы. М.: МНЭПУ, 1997.

О состоянии окружающей природной среды в РФ в 1995 г., Госдоклад. М.: Экоинформ, 1995.

Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс И. За пределами роста: Учеб. пособие. М.: Прогресс, Пангея, 1994.

### **Оборудование, материалы и программное обеспечение**

Мультимедийный проектор

Ноутбук

Экран

Технологические схемы предприятий химической и нефтехимической промышленности

Схемы малоотходных ресурсосберегающих технологий.

Технологические регламенты.

Таблицы ПДК для экотоксикантов.

Компьютерные программы для количественной оценки рисков

Компьютерные модели для климатических изменений ([www.unive.it/inca](http://www.unive.it/inca).)

### **Программу составили:**

В.В. Меньшиков, доц.;

А.А. Швыряев, к.х.н.

### **Рецензенты:**

Доцент М.Г. Беренгартен (Московский государственный университет инженерной экологии).

Профессор А.С. Локтев (Государственный университет нефти и газа им. Губкина).

**Программа дисциплины**  
**«ТРАДИЦИОННЫЕ И НЕТРАДИЦИОННЫЕ**  
**ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ»**

*Название курса* Традиционные и нетрадиционные источники энергии

*Код курса* М.П.2

*Тип курса* Профильный компонент

*Год обучения* 5 год

*Семестр* 10

*Количество кредитов* 8

## **I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

### **Обеспечиваемые компетенции**

В результате освоения материала курса магистр должен компетентно ориентироваться в современных мировых тенденциях и способах модификации источников энергии. Магистр должен квалифицированно ориентироваться в количественных показателях оценки качества различных видов энергии и термодинамической эффективности технологических процессов. Он должен получить навыки ранжирования потерь эксергии первичных источников энергии в различных областях экономики.

Магистр должен получить максимально полное представление обо всем широком спектре альтернативных источников энергии. Магистр должен знать принципы и способы оптимизации подвода (отвода) теплоты и инфраструктуры потоков теплоносителей. Он должен изучить основные химические процессы, связанные получением и улучшением качества моторных топлив, а также повышением их экологических характеристик. Магистр должен компетентно разбираться в принципах работы и направлениях улучшения химических источников тока, электрохимических конденсаторов, водородаккумулирующих материалов. Магистр должен иметь базовые представления о фотоэлектролизе, а также взаимосвязи прогресса в химической энергетике с разработкой новых функциональных материалов.

## **Цель курса**

Познакомить с принципами работы современных и нетрадиционных источников энергии. Обучить оценке экологической составляющей в производстве и потреблении энергии. Дать фундаментальные знания о принципах работы и направлениях совершенствования энергетических установок и систем хранения энергии, о способах количественной оценки различных видов энергии и способов ее получения. Обучить методам повышения эффективности применения энергоресурсов.

## **Задачи курса**

Проанализировать мировые тенденции в энергопотреблении, в производстве энергии и в направлениях изменения принципов получения энергии. Научить разбираться в принципах работы и путях модификации источников энергии и средств для ее сохранения. Познакомить с альтернативными путями развития энергетики и объяснить ключевую роль химии в развитии альтернативных энергосистем. Обучить методам расчета эксергии для выражения потенциальной работоспособности технологической системы. Обучить методам Оптимизация инфраструктуры потоков теплоносителей в технологических схемах. Дать фундаментальные и практические знания по производству и оптимизации технологических и экологических показателей моторных топлив, в том числе получаемых в результате утилизации органических отходов. Систематизировать принципы прямого преобразования энергии химических реакций в электрическую энергию в химических источниках тока. Дать представление о электрохимических конденсаторах для хранения энергии, химических энергоносителях в системах преобразования энергии, водородаккумулирующих материалах и способах их оптимизации. Дать базовые представления о фотохимическом и фотоэлектрохимическом преобразовании солнечной энергии.

## **Место курса в процессе подготовки магистра**

Курс тесно связан с курсами «Методы реализации зеленых процессов» и «Техногенные системы и экологический риск», дает более глубокие теоретические и практические знания в области традиционных и нетрадиционных источников энергии, принципов

их работы и направлений совершенствования. Он обеспечивает получение важных фундаментальных и практических знаний и умений, необходимых для реализации идеи устойчивого развития через совершенствование систем получения и хранения энергии.

## **II. СОДЕРЖАНИЕ**

### **Введение**

Современные мировые тенденции роста энергопотребления. Вклад различных первичных энергоресурсов в энергетику; доминирование ископаемого органического топлива. Энергетика как основной источник техногенного воздействия на природную среду; нарушение кругооборота углерода и кислорода в природе и негативные последствия для климата и биологического равновесия. Альтернативные пути развития энергетики; первоочередное значение повышения эффективности использования энергоресурсов.

### **Количественные методы оценки качества энергии и оптимизация энергетических и материальных потоков**

Эксергетический метод оценки качества различных видов энергии и анализа термодинамической эффективности технологических процессов. Эксергия тепловой энергии и материальных потоков. Выражение потенциальной работоспособности технологической системы через функцию эксергия. Ранжирование потерь эксергии первичных источников энергии в различных отраслях экономики. Общие принципы снижения потерь эксергии в химических, электрохимических, тепловых и механических процессах.

Принципы работы топливных энергоустановок. Резервы повышения эксергетического к.п.д. установок. Эффективность каталитической пароуглекислотной конверсии топлива. Химическая регенерация теплоты отходящих газов. Экологически чистые схемы преобразования энергии топлива.

Оптимизация подвода (отвода) теплоты при проведении обратимых экзо- и эндотермических химических реакций на химических производствах. Термодинамика процессов разделения веществ. Термодинамические принципы подбора селективных адсорбентов и абсорбентов. Оптимизация инфраструктуры потоков теплоносителей в технологических схемах химических произ-

водств. Термодинамическая эффективность процессов теплообмена.

### **Традиционные источники энергии**

Природный газ, нефть и уголь – основные виды сырья для производства топлив различного назначения; представления об их химическом составе. Технологии для повышения нефтеотдачи скважин и устранения газогидратных пробок. Переработка природного газа и нефти в котельные топлива. Производство бензина и дизельного топлива, современные требования к ним, включая экологические. Роль каталитических процессов (гидроочистки, риформинга, крекинга, алкилирования и изомеризации) в получении высококачественных моторных и авиационных топлив. Использование в качестве моторного топлива. Получение синтез-газа и различных энергоносителей на его основе. Физико-химические основы преобразования энергии топлива в двигателях внутреннего сгорания. Способы очистки продуктов сгорания котельных и моторных топлив от токсичных компонентов.

Основные химические процессы, связанные с получением моторных топлив. Переработка нефти, газа, угля и других горючих ископаемых в различные моторные топлива. Каталитические процессы крекинга и реформинга углеводородов. Получение синтез-газа и различных энергоносителей на его основе. Физико-химические основы преобразования энергии топлива в двигателях внутреннего сгорания. Химические методы улучшения эксплуатационных характеристик топлива. Каталитическая нейтрализация выхлопных газов двигателей. Новые технологии для повышения эффективности использования существующих источников сырья (химические способы увеличения нефтеотдачи скважин, утилизации отходов катализаторов нефтеперерабатывающих заводов, устранения газогидратных пробок в магистральных газопроводах). Основы гибких технологических процессов переработки сырьевых ресурсов.

Производство жидкого и газообразного топлив утилизацией органических отходов животноводства и растениеводства, переработки сельскохозяйственного сырья, лесной и деревообрабатывающей промышленности. Химическая энергетика и биотехнология.

## **Нетрадиционные системы получения и хранения энергии**

Принципы прямого преобразования энергии химических реакций в электрическую энергию в химических источниках тока (ХИТ). Важнейшие характеристики ХИТ. Термодинамика ХИТ. Кинетика энергообразующих процессов и материалы электродов ХИТ. Электрохимическая конверсия топлива.

Основные типы ХИТ: первичные (гальванические) элементы, аккумуляторы, топливные элементы. Принципы конструирования ХИТ. Пористые системы. Электролиты ХИТ (водные, неводные, твердые, расплавленные). Крупномасштабное электрохимическое аккумулирование энергии. Электрохимические энергоустановки и электростанции.

Вопросы эксплуатации ХИТ и области практического применения. Моделирование и пути оптимизации ХИТ. Саморазряд и другие деградационные явления.

Электрохимические конденсаторы как системы для хранения энергии. Материалы для двойнослойных и интеркаляционных конденсаторных систем.

Принципы использования химических энергоносителей в системах преобразования и аккумулирования ядерной, солнечной и др. видов энергии. Термоэлектрохимические циклы. Основные типы и принципы функционирования. Концепция водородной энергетики. Водородаккумулирующие материалы и принципы их оптимизации.

Фотохимическое и фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. Процессы в полупроводниковых фотоэлектрохимических элементах. Фотоэлектролиз, электрохимические и комбинированные системы для преобразования солнечной энергии в химическую и электрическую.

Взаимосвязь прогресса в химической энергетике с разработкой новых функциональных материалов: жаропрочных материалов, катализаторов, электродных материалов, электролитов, мембран, селективных адсорбентов и абсорбентов и др.

## **Примерный перечень практических работ**

Чтение технологической схемы энергетической топливной установки

Оценка термодинамических параметров топливной энергетической установки

Расчет к.п.д. для установки пароуглекислотной конверсии топлива

Экологические параметры технологической схемы топливной энергетической установки: оценка и установление путей модификации

Изучение технологических схем установок крекинга, реформинга, алкилирования, изомеризации, получения синтез-газа. Оценка экологических параметров.

Изучение схем и экологических показателей систем утилизации биогаза в качестве источника энергии.

Работа со схемой химического источника тока. Составление таблиц (влияние состава электродов на эффективность химического источника тока; пористые системы для ХИТ; систематизация электролитов для ХИТ)

Работа со схемой электрохимического конденсатора

Составление примерного термоэлектрохимического цикла

Составление перечня водородаккумулирующих материалов, включающего их характеристики (емкость по водороду, температуры выделения и др.)

Работа со схемой полупроводникового фотоэлектрохимического элемента

Составление схемы работы каталитического нейтрализатора выхлопных газов автомобиля

Сравнение экологических норм «ЕВРО-3» и «ЕВРО-4»

### **Примерная тематика заданий для самостоятельной работы и рефератов**

Жаропрочные материалы и прогресс в химической энергетике

Новые катализаторы для процессов в химической энергетике

Новые электролиты для систем получения и хранения энергии

Селективные мембраны для оборудования в новых направлениях химической энергетике

Селективные адсорбенты и абсорбенты и прогресс химической энергетике

Электрохимические системы для преобразования солнечной энергии в химическую и электрическую.

Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии  
Двойнослойные конденсаторные системы  
Интеркаляционные конденсаторные системы  
Водородаккумулирующие материалы и направления их оптимизации  
Гидриды металлов как водородаккумулирующие материалы и катализаторы  
Области практического применения химических источников тока  
Деградационные явления химических источников тока  
Топливные элементы: принципы работы и направления усовершенствования  
Электрохимическая конверсия топлива  
Химические способы увеличения нефтеотдачи скважин  
Химические способы утилизации отходов катализаторов нефтеперерабатывающих заводов  
Газогидратные пробки в магистральных газопроводах и способы их устранения  
Каталитический реформинг нефти: современные тенденции  
Современные присадки к топливам  
Процессы Фишера-Тропша и их реализация в современной промышленности  
Сравнительный анализ нефти и угля как источников для получения нефтехимических и химических продуктов  
Классификация углей с точки зрения энергетической эффективности и экологической приемлемости использования  
Пути модификации современных двигателей внутреннего сгорания с учетом экологических требований  
Резервы повышения эксергетического к.п.д. топливных установок  
Трехмаршрутные катализаторы очистки выхлопных газов

### **Примерный перечень вопросов к экзамену**

1. Расскажите о структуре используемых в настоящее время энергоресурсов.
2. Охарактеризуйте направления, в которых будет происходить снижение использования современных энергоресурсов.

3. Кругооборот углерода и его нарушения как причина негативных воздействий человеческой деятельности на природу.
4. Кругооборот кислорода и его нарушения как причина негативных воздействий человеческой деятельности на природу.
5. Назовите и охарактеризуйте пути повышения эффективности использования энергоресурсов.
6. Дайте определение эксергии тепловой энергии и материальных потоков.
7. Расскажите о способах выражения потенциальной работоспособности технологической системы через функцию эксергии.
8. Охарактеризуйте причины и масштабы потерь эксергии первичных источников энергии в различных отраслях экономики (на примере одной-двух отраслей).
9. Охарактеризуйте принципы снижения потерь эксергии в химических и электрохимических процессах.
10. Охарактеризуйте принципы снижения потерь эксергии в тепловых и механических процессах.
11. Назовите принципы работы топливных энергоустановок. Охарактеризуйте схему одной из них.
12. Назовите способы определения эксергетического к.п.д. установок.
13. Каталитическая пароуглекислотная конверсия топлива основные принципы и технологические схемы.
14. Химическая регенерация теплоты отходящих газов – способы и эффективность.
15. Приведите пример экологически чистой схемы преобразования энергии топлива.
16. Оптимизация подвода (отвода) теплоты – принципы и способы осуществления.
17. Охарактеризуйте термодинамические параметры процессов разделения веществ.
18. Проведите анализ термодинамических принципов подбора селективных адсорбентов и абсорбентов.
19. Перечислите направления и приведите примеры оптимизации инфраструктуры потоков теплоносителей в технологических схемах химических производств.
20. Охарактеризуйте химический состав и направления энергетического использования нефти и газа.

21. Охарактеризуйте химический состав и направления энергетического использования угля.
22. Физико-химические основы преобразования энергии топлива в двигателях внутреннего сгорания.
23. Каталитические процессы крекинга и реформинга углеводородов.
24. Получение синтез-газа и различных энергоносителей на его основе.
25. Охарактеризуйте химические методы улучшения эксплуатационных характеристик топлива.
26. Какие существуют новые технологии для повышения эффективности использования существующих источников сырья; охарактеризуйте их количественные параметры.
27. Основы гибких технологических процессов переработки сырьевых ресурсов.
28. Приведите примеры и опишите химизм получения моторных топлив утилизацией органических отходов животноводства и растениеводства, переработки сельскохозяйственного сырья, лесной и деревообрабатывающей промышленности (на одном примере).
29. Химические источники тока – принцип работы, термодинамические основы.
30. Кинетика энергообразующих процессов и материалы электродов ХИТ.
31. Принципы конструирования ХИТ.
32. Электролиты ХИТ (водные, неводные, твердые, расплавленные).
33. Электрохимические энергоустановки и электростанции.
34. Укажите и охарактеризуйте пути оптимизации ХИТ.
35. Электрохимические конденсаторы как системы для хранения энергии: типы систем и материалы.
36. Химические энергоносители в системах преобразования и аккумулирования ядерной, солнечной и др. видов энергии.
37. Термоэлектрохимические циклы: основные типы и принципы функционирования.
38. Водородоаккумулирующие материалы и принципы их оптимизации.

39. Охарактеризуйте процессы, протекающие в полупроводниковых фотоэлектрохимических элементах.

40. Фотоэлектролиз, электрохимические и комбинированные системы для преобразования солнечной энергии в химическую и электрическую.

41. Расскажите о новых функциональных материалах и возможностях прогресса в химической энергетике на их основе.

### III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ КУРСА ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ

№ п.п.	Наименование тем и разделов	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (лекции, семинары)	Самостоятельная работа
1	Введение	6	2	4
2	Количественные методы оценки качества энергии и оптимизация энергетических и материальных потоков	75	20	55
3	Традиционные источники энергии	75	20	55
4	Нетрадиционные системы получения и хранения энергии	84	23	61
	ВСЕГО часов	240	65	175
	ВСЕГО кредитов	8		

### IV. ФОРМА ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ

Экзамен по курсу

### V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА

Набор технологических схем нефтехимических производств, включая установки крекинга, реформинга, алкилирования, изомеризации; пароуглекислотной конверсии топлива, получения синтез-газа, топливной энергетической установки.

Схемы действия химического источника тока, полупроводниковых электрохимических элементов, электрохимических конденсаторов.

## Литература

### Основная:

Бродянский В.М., Фратшер В., Михалек К. Эксергетический метод и его приложения. М.: Энергоатомиздат, 1988.

Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза. М.: Химия, 1988.

Сафонов М.С. Критерии термодинамического совершенства технологических систем. М.: Химфак МГУ, 1998.

Преобразование солнечной энергии. /Под ред. Н.Н.Семенова, А.Е.Шилова. М.: Наука, 1985.

Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981.

Коровин Н.В. Электрохимическая энергетика. М.: Энергоиздат, 1991.

Энергетические ресурсы сквозь призму фотохимии и катализа. Под ред. М.Гретцеля. М.: Мир, 1986.

### Дополнительная

Wockris J.O'M. Energy options. Australia and New Zealand Book Company, 1980.

Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Энергоатомиздат, 1983.

Плесков Ю.В. Фотоэлектрохимическое преобразование солнечной энергии. М.: Химия, 1990.

### Программу составил:

Булычев Б.М., проф. (Московский государственный университет)

### Рецензенты:

Горлов Е.Г., проф., Государственный университет нефти и газа им. Губкина

Беренгартен М.Г., доцент, Московский государственный университет инженерной экологии

# Программа дисциплины ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗА

*Название курса* Теоретические основы гетерогенного катализа

*Код курса* МС

*Тип курса* Профильный компонент

*Год обучения* 6 год

*Семестр* 11

*Количество кредитов* 9

## I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### Обеспечиваемые компетенции

В результате освоения материала курса магистр должен компетентно ориентироваться в основных направлениях гетерогенного катализа и типах катализаторов. Знать основные принципы действия катализаторов. Магистр должен уметь оценить активность катализаторов, его физико-химические свойства.

Магистр должен получить максимально полное представление о всем широком наборе гетерогенных катализаторов и их особенностях. Он должен знать основные мировые достижения в области гетерогенного катализа.

Приобретенные в рамках курса компетенции и умения позволят специалисту квалифицированно выбирать методы приготовления катализаторов в соответствии с поставленной задачей, оценивать активность катализаторов. Магистрант должен уметь подобрать необходимые физико-химические методы исследования для полного описания свойств катализатора

### Цель курса

Познакомить с основными подходами к приготовлению и исследованию гетерогенных катализаторов. Дать фундаментальные знания о принципе действия гетерогенных катализаторов и выборе оптимальных условий каталитического процесса.

Научить основным принципам выбора физико-химических методов для исследования свойств гетерогенных катализаторов (активности, модифицирования, дезактивации, отравления и др.)

Проанализировать отечественный и мировой вклад в теорию гетерогенного катализа.

### **Задачи курса**

Научить ориентироваться в разнообразных типах гетерогенных катализаторов и подходить к их использованию и описанию.

Дать навыки выполнения оценки каталитической активности.

Научить выбирать катализаторы, удовлетворяющие требованиям промышленных процессов.

Познакомить с основными современными физико-химическими методами исследования катализаторов.

### **Место курса в профессиональной подготовке магистров**

Курс опирается на предшествующий курс «Устойчивое развитие и роль химии в его осуществлении» и обеспечивает теоретическую подготовку и практические навыки в области современных подходов к химическим процессам в интересах устойчивого развития.

## **II. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА**

### **1. Теории гетерогенного катализа.**

Феноменология катализа. Ранние теории катализа. Теория промежуточных соединений. Теория активных центров Тейлора. Мультиплетная теория Баландина. Теория активных ансамблей Кобозева. Вклад в теорию катализа Рогинского, Борескова, Волькенштейна.

### **2. Активность, использование в промышленности.**

Активность и селективность гомогенных и гетерогенных катализаторов. Методы изучения активности катализаторов. Типы каталитических реакторов: статические, проточные и проточно-циркуляционные системы. Микрокаталитические реакторы. Требования, предъявляемые к промышленным катализаторам. Характеристики промышленных катализаторов.

### **3. Типы гетерогенных катализаторов и основы их приготовления.**

Общие принципы приготовления катализаторов. Металлические катализаторы. Основы приготовления черной, скелетных ка-

тализаторов. Никель Ренея. Влияние условий приготовления на физико-химические свойства металлических катализаторов. Структура и свойства дисперсных металлических частиц.

Нанесенные катализаторы. Принципы выбора носителя. Типы носителей. Распределения активного компонента на носителе. Функция носителя. Взаимное влияние в системе металл-носитель. Полиметаллические катализаторы. Влияние реакционной среды на состав поверхности гетерогенных катализаторов.

Способы модификации и промотирования катализаторов. Структурные и функциональные промотеры. Дезактивация катализаторов и способы их регенерации.

Алюмосиликаты и цеолиты. Связь каталитической активности со свойствами поверхности. Активность и селективность цеолитных катализаторов.

#### **4. Методы исследования катализаторов и каталитических процессов**

Интегральный и дифференциальные методы, безградиентные методы.

Политермические методы: ТПД, ТПР, ТПО.

Методы идентификации и количественного анализа продуктов каталитических реакций: хроматография, хроматомасс-спектрометрия.

Топохимические реакции.

Методы определения элементного состава катализаторов, спектральные и химические методы. Термогравиметрия.

Методы исследования текстуры пористых катализаторов. Адсорбционные методы, ртутная порометрия. Газохроматографические методы.

Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ. Электронная микроскопия. Туннельная и атомно-силовая микроскопия.

Изотопные методы в катализе. Кинетический изотопный эффект. Изотопный обмен, меченые соединения.

ИК-, КР- и УФ-спектроскопия. Радиоспектроскопия: ЭПР и ЯМР. Рентгеновская спектроскопия поглощения. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Оже-спектроскопия.

Магнитные методы исследования. Определение размера частиц с помощью магнитных измерений.

## **Примерный перечень практических работ**

Определение кинетических характеристик оксидных катализаторов в реакции окисления СО.

Исследование взаимодействия металл-металл в активном компоненте катализатора методом температурно-программированного восстановления.

Изучение влияния обработки озоном на каталитическую активность нанесенных катализаторов.

Исследование поверхностных свойств катализаторов методом электронного парамагнитного резонанса.

Исследование поверхностных свойств катализаторов методом ИК-спектроскопии.

## **Примерный перечень контрольных вопросов**

### **1. Теории катализа**

Ранние теории катализа и их вклад в развитие понимания процесса катализа.

Сформулируйте основные положения теории Баландина.

Сформулируйте основные положения теории Кобозева.

Вклад в теорию катализа Рогинского и Борескова.

Основные принципы катализа на полупроводниках, теория Волькенштейна.

Термодинамический аспект действия катализатора

### **2. Типы катализаторов, методы приготовления и модифицирования**

В чем заключается принцип действия катализатора.

Перечислите основные требования, предъявляемые к промышленным катализаторам, в чем отличие использования катализаторов в лабораторном и промышленном масштабе?

Активность и селективность. Способы исследования каталитической активности.

Типы каталитических реакторов: статические, проточные и проточно-циркуляционные системы. Микрокаталитические реакторы.

Скелетных катализаторов. Никель Ренея.

Нанесенные катализаторы. Принципы выбора носителя и строение активного центра.

Активность и селективность цеолитных катализаторов.  
Способы модификации и промотирования катализаторов.  
Деактивация катализаторов и способы их регенерации.

### **3. Методы исследования катализаторов**

Основные подходы к изучению деактивации катализаторов  
Методы идентификации и количественного анализа продуктов каталитических реакций.

Методы определения элементного состава катализаторов, спектральные и химические методы.

Методы исследования текстуры пористых катализаторов.

Рентгенофазовый и рентгеноструктурный анализ.

Изотопные методы в катализе.

Основные подходы к изучению поверхности катализаторов

### **Принцип составления экзаменационных билетов по всему курсу**

Первый вопрос билета относится к теориям катализа, либо к основным принципам действия каталитической системы.

Второй вопрос включает в себя основные представления о типах катализаторах, их активности, а также методам приготовления, модифицирования и деактивации.

Третий вопрос связан с физико-химическими методами исследования катализаторов.

## **III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ КУРСА ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ**

№ п/п	Наименование тем	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (лекции, семинары)	Самостоятельная работа
1	Феноменология катализа. Теории катализа	12	4	8
2	Активность и селективность	48	16	32
3	Промышленные катализаторы	24	8	16
4	Основные типы гетерогенных катализаторов	54	18	36

Продолжение таблицы

№ п/п	Наименование тем	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (лекции, семинары)	Самостоятельная работа
5	Способы приготовления, модифицирования. Дезактивация	60	20	40
6	Основные подходы к изучению катализаторов	72	24	48
ВСЕГО часов		270	90	180
Всего кредитов		<b>9 кредитов</b>		

#### IV. ФОРМА ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ

Зачет по практическим работам и экзамен по теоретической части.

#### V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА

##### Литература

###### Основная

1. О.В.Крылов. Гетерогенный катализ. М. ИКЦ «Академкнига». 2004.
2. О.М. Полтораки. Лекции по теории гетерогенного катализа. Изд-во Моск. ун-та. 1968.
3. Боресков Г.К. Гетерогенный катализ. М.: Наука, 1986.
4. Дж.Андерсон. Структура металлических катализаторов. М. «Мир».
5. Б.Гейтс, Дж.Кетцир, Г.Шуйт. Химия каталитических процессов. М. «Мир». 1981.

###### Дополнительная

1. Панченков Г.М., Лебедев В.П. Химическая кинетика и катализ, М.: Химия, 1985.
2. Драго Р. Физические методы в химии. М.: Мир, 1981. Т. 1, 2.
3. Методы анализа поверхностей. / Под ред. А.Зандерна, М.: Мир, 1979.

### **Обеспечение лекционного курса**

Мультимедийный проектор, экран, компьютер.

Образцы промышленных катализаторов (никель Ренея, нанесенные и металлические катализаторы)

Образцы лабораторных каталитических реакторов.

### **Методическое обеспечение практических работ**

1. Импульсная каталитическая установка, оснащенная хроматографом (детектор катарометр, хроматографическая колонка для разделения смесей CO-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>), программатором температуры и регулятором потоков газов.

2. Установка для изучения температурно-программированного восстановления образцов катализаторов, оснащенная катарометром, программатором температуры и регулятором потоков газов.

3. Проточная установка обработки озоном, оснащенная озонометром и регулятором потока газов.

4. ЭПР и ИК спектрометры для проведения практических работ по изучению поверхности катализаторов.

### **Программу составили:**

**В.В. Лунин**, академик РАН.

**Е.В. Голубина**, к.х.н., н.с. (Московский государственный университет)

### **Рецензенты:**

В.И.Симагина, проф., Новосибирский государственный университет

В.Ф.Третьяков, проф., Московская Академия тонких химических технологий

## **Программа дисциплины МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ ЗЕЛЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

*Название курса* Методы реализации зеленых процессов

*Код курса* МС

*Тип курса* Профильный компонент

*Год обучения* 5 и 6 год

*Семестр* 9 и 11

*Количество кредитов* 6

### **I. ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

#### **Обеспечиваемые компетенции**

В результате освоения курса магистрант должен знать основные требования, предъявляемые к процессам с точки зрения устойчивого развития.

Магистр должен получить максимально полное представление о возможных методах и принципах проведения «зеленых» процессов.

Приобретенные в рамках курса компетенции и умения позволят специалисту квалифицированно выбирать условия проведения промышленных процессов, соответствующих требованиям устойчивого развития, оценивать эффективность выбранных условий.

#### **Цель курса**

Познакомить с основными подходами к разработке химических реакций с учетом требований «зеленой» химии. Дать фундаментальные знания, обеспечивающие выбор оптимальных условий проведения процессов в интересах устойчивого развития.

Проанализировать отечественный и мировой опыт разработки реакций без растворителей, с использованием ионных жидкостей, на основе водных растворов, а также оценки эффективности предложенных условий.

#### **Задачи курса:**

Дать теоретические знания об особенностях реакций, протекающих в отсутствие растворителя, при использовании нетради-

ционных растворителей (ионные жидкости, соединения в сверхкритическом состоянии).

Ознакомить с современными технологическими подходами к проведению химических процессов.

Привить практические навыки анализа эффективности процесса с точки зрения химии в интересах устойчивого развития.

### **Место курса в процессе подготовки магистра**

Курс «Методы реализации зеленых процессов» состоит из 2 частей. Первая часть является вводной и ее основной целью является ознакомление с основными требованиями, предъявляемыми к химическим реакциям с точки зрения химии в интересах устойчивого развития. Вторая часть курса служит продолжением и использует также материал курса «Устойчивое развитие и роль химии в его осуществлении», формируя базовые представления о возможностях и технологиях проведения конкретных процессов. Эта часть курса основывается на конкретных примерах в различных областях химии.

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **Описание «зеленых» процессов**

Основные требования к промышленным процессам. Этапы и характеристики современных процессов.

Принцип рассмотрения химической реакции с точки зрения зеленой химии. Атомная эффективность, E-фактор.

Учет всех стадий промышленного процесса, начиная от производства энергии и заканчивая утилизацией продуктов.

### **«Зеленые» способы получения энергии**

Водородная технология. Топливные элементы. Биодизель. Проблемы энергосбережения.

### **Каталитические «зеленые» процессы**

Гетерогенные каталитические процессы. Гомогенные каталитические процессы. Новые каталитические процессы получения фармпрепаратов. Селективные процессы.

Ферментативный катализ. Ферментативные способы утилизации загрязнений. Ферментативные способы утилизации отходов.

### **Альтернативные растворители**

Сверхкритические растворители. Экспериментальные особенности осуществления процессов в суб- и сверхкритических средах. Вода. Ионные жидкости. Новые органические процессы зеленой направленности. Нуклеофильное замещение водорода. Новые реагенты для осуществления зеленых реакций. Некоторые органические реакции с точки зрения промышленности и зеленой химии.

### **Использование возобновляемых источников сырья**

Технологии переработки биомассы. Химические продукты на основе крахмала, целлюлозы, сахаров.

### **Полимеры для зеленой химии**

Биоразлагаемые полимеры. Получение, использование. Утилизация отходов пластмасс в ценные продукты.

### **Технология зеленых процессов**

Микрореакторная техника. Системы управления. Микроволновые технологии. Механохимическая активация. Фотохимия.

Примеры цельных зеленых технологий.

### **Перечень практических заданий**

Анализ атомной эффективности и E-фактора для предложенного набора химических процессов.

Анализ возможных методов проведения химических реакций с точки зрения экономической эффективности и с точки зрения химии в интересах окружающей среды.

Составление схемы «зеленого» процесса для предложенного набора промышленных процессов.

### **Перечень примерных контрольных вопросов для работы на семинарах и выполнения практических заданий**

Назовите основные требования к промышленным процессам.

Что такое атомная эффективность и E-фактор?

Какие «зеленые» способы получения энергии Вы знаете?  
Назовите основные этапы и характеристики современных процессов.

Какова роль катализа в формировании процессов, отвечающих требованиям устойчивого развития?

Ферментативные способы утилизации загрязнений.

В чем преимущества растворителей в сверхкритическом состоянии?

Какие преимущества и недостатки проведения реакций в отсутствие растворителя?

Ионные жидкости в химических реакциях.

Биоразлагаемые полимеры. Утилизация отходов пластмасс.

Какие существуют подходы к использованию возобновляемых источников сырья.

Приведите примеры химических продуктов на основе крахмала, целлюлозы, сахаров.

Технологии переработки биомассы.

Приведите примеры цельных зеленых технологий.

### **III. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСОВ КУРСА ПО ТЕМАМ И ВИДАМ РАБОТ**

№ п.п.	Наименование тем и разделов	ВСЕГО (часов)	Аудиторные занятия (лекции, семинары)	Самостоятельная работа
1	Введение	4	2	2
2	Описание «зеленых» процессов	94	30	64
3	Технология зеленых процессов	82	22	60
	ВСЕГО часов	180	54	126
	ВСЕГО кредитов	6		

### **IV. ФОРМА ИТОГОВОГО ОТЧЕТА**

Зачет по практическим и семинарским заданиям, экзамен по курсу

## **V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА**

### **Обеспечение лекционного курса**

Мультимедийный проектор, экран, компьютер.

### **Методическое обеспечение**

Схемы технологических процессов, рассматриваемых в курсе лекций.

### **Литература**

#### **Основная**

1. Green Chemistry, Theory and Practice, P. Anastas, J.C. Warner, Eds.; Oxford University Press: Oxford, 1998.
2. 1-st International IUPAC conference on green-sustainable chemistry. Proceedings. 2006, 450 с.
3. Белецкая И.П., Кустов Л.М. Катализ в промышленности, 2006, № 3.
4. Журнал «Химия в интересах устойчивого развития», издательство СО РАН.

#### **Дополнительная**

1. Юфит С.С., Яды вокруг нас, «Классик-Стиль», М., 2002.
2. Петросян В.С., Современные проблемы экотоксикологии, в «Связь времён», т. 2, МГВП КОКС, М., 2002, стр. 408–423.

#### **Программу составили:**

**В.В. Лунин**, академик РАН, профессор;

**Е.С. Локтева**, к.х.н., с.н.с.

**Е.В. Голубина**, к.х.н., н.с.

(Московский государственный университет)

#### **Рецензенты:**

В.Ф. Третьяков, проф., Московская Академия тонких химических технологий

Н.П. Тарасова, чл.-корр.РАН, проф., Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева

**ТРЕБОВАНИЯ**  
**к научно-исследовательской работе**  
**в рамках образовательной магистерской программы**  
**«Химия в интересах устойчивого развития»**

Магистрант должен принимать участие в научно-исследовательской работе в рамках одной из тем Плана научно-исследовательских работ Научно-образовательного центра «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия» в лаборатории катализа и газовой электрохимии кафедры физической химии химического факультета МГУ:

- по исследованию наночастиц и нанокатализаторов;
- по изучению методов синтеза и применения озона в химии и прикладных областях;
- по изучению химического синтеза на основе возобновляемого сырья;
- по изучению каталитических способов получения химических продуктов;
- по изучению поверхностных и объемных свойств каталитических систем;
- по использованию альтернативных растворителей для осуществления химических реакций и синтеза каталитических систем;
- по изучению альтернативных окислителей.

Магистрант может участвовать в подготовке и проведении занятий в рамках практикумов по методам исследования катализаторов, методам исследования атмосферы, методам проведения каталитических реакций для студентов кафедры физической химии и других кафедр факультета.

В процессе этих исследований и практических работ магистрант должен закрепить полученные при обучении навыки:

- синтеза гомогенных и гетерогенных катализаторов;
- способов проведения газофазных, мультифазных и жидкофазных каталитических реакций;
- способов исследования свойств каталитических систем методами ГХ, ИК-спектроскопии, масс-спектроскопии, ДТА, ТГА, ТПВ, ТПО, порометрии.
- способов синтеза наночастиц.

– способов проведения реакций в сверхкритических растворителях.

получить навыки исследования катализаторов, каталитических реакций, проведения физико-химических исследований каталитических систем, компьютерной обработки результатов эксперимента, работы с литературой, написания научных статей и отчетов.

Профессор, Академик РАН  
В.В. Лунин

## Сведения об авторах:

*Лунин Валерий Васильевич* – академик РАН, профессор, доктор химических наук, декан химического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, руководитель Научно-образовательного центра «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия». Лауреат Государственной премии, Премии Президента и других престижных премий.

*Локтева Екатерина Сергеевна* – кандидат химических наук, доцент, старший научный сотрудник химического факультета МГУ, заместитель руководителя Научно-образовательного центра «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия».

*Голубина Елена Владимировна* – кандидат химических наук, доцент химического факультета МГУ, сотрудник Научно-образовательного центра «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия».

*Научное издание*

**Инновационные образовательные программы  
в области химии. Научно-образовательный центр  
«Химия в интересах устойчивого развития –  
зеленая химия»**

Подписано в печать 03.12.2007 г.  
Печать офсетная. Формат 64×94 1/16.  
Гарнитура Times New Roman.  
Объем 7,5 печатных листа  
Тираж 1000 экз.

Ордена «Знак Почета» Издательство Московского университета.  
125009, Москва, ул. Б. Никитская, 5/7.

Отпечатано в типографии ООО «ГЕО-ТЕК».  
129110, Москва, Проспект Мира, д. 45, стр. 1, ООО «ГЕО-ТЕК»



**Рис. 1.** Эмблема Научно-образовательного центра «Химия в интересах устойчивого развития – зеленая химия»



**Рис. 2.** Герхард Эртл (Gerhard Ertl) – Нобелевский лауреат в области химии, 2007

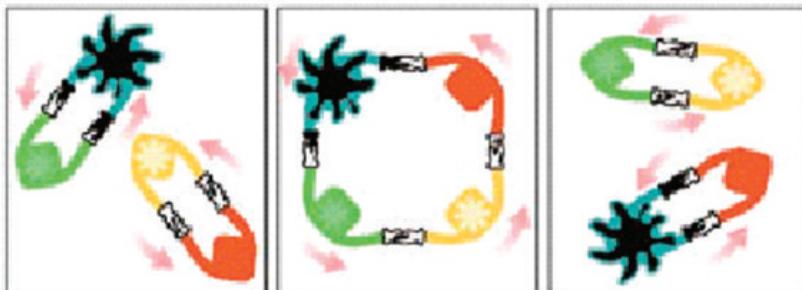


Рис. 3. Схематическое изображения реакции метатезиса –  
Нобелевская премия за открытие реакции метатезиса,  
И. Шовен, Р. Граббс, Р. Шрок, 2005 год

Научно-образовательный Центр  
"Химия в интересах устойчивого развития - Зеленая химия"

**ЗЕЛЕНАЯ ХИМИЯ**

Научно-образовательный Центр  
"Химия в интересах устойчивого развития - Зеленая химия"

Обязательное **основательное** условие набора на обучение по магистерской программе по специальности "Химия в интересах устойчивого развития - Зеленая химия".  
Полное наименование

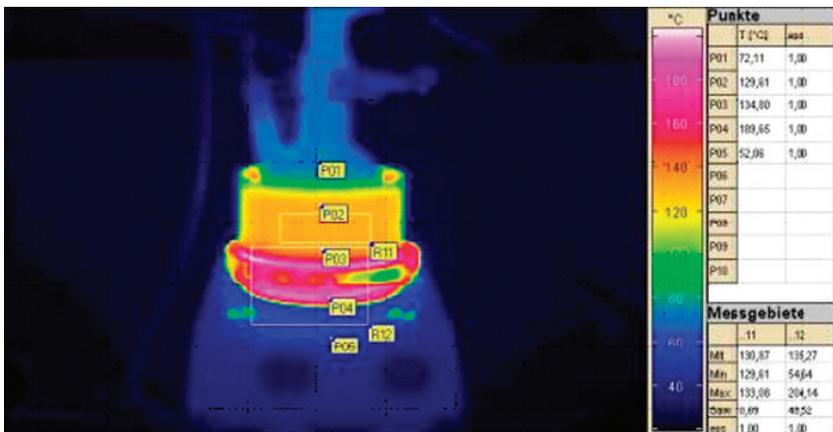
**О ПРОЕКТЕ**

В 2006 году в Московском Государственном университете им. М.В. Ломоносова был создан Научно-образовательный центр «Химия в интересах устойчивого развития - Зеленая химия». В последние годы и мире становится популярной новая парадигма в производстве химических веществ – «зеленая химия, или химия в интересах устойчивого развития». Если химия руководствуется этими принципами, то способно заменить опасные растворители на экологически приемлемые, например, воду, или вообще обойтись без растворителей при проведении реакции; не может на стадии планирования процесса переключиться на использование возобновляемых источников сырья вместо ископаемых, каталитических вместо стехиометрических; он может заранее учесть возможность токсичности химических продуктов для человека, для животных. Важно также учесть заботу об окружающей среде, необходимой для экологического производства, а также самый частый элементный процесс – синтез органики из неорганики при производстве энергии. Самое интересное заключается в том, что если ученые и производственные руководители используют «зеленый» подход, процессы становятся не только экологичнее, но и экономичнее. Как написал П.Линч, один из основоположников этого подхода, лучше сделать кувалдой «зеленый» химик, потому что «зеленый химик – это просто часть элитной рабочей химии».

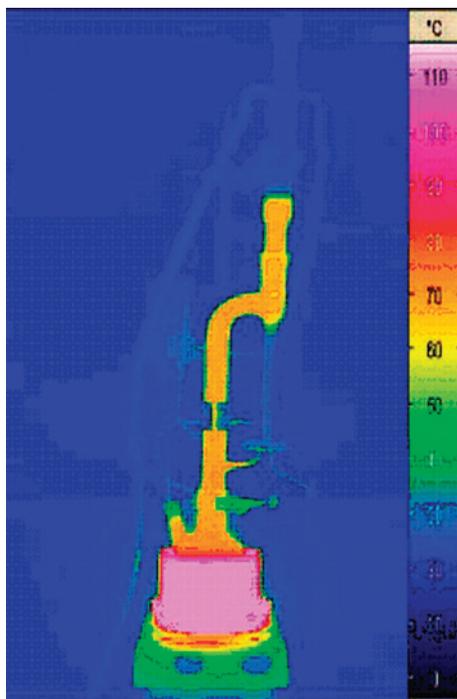
Для того, чтобы «зеленый» подход стал частью повседневной жизни химиков в мире, необходимы специальные усилия. Создание центра предусмотрено проектом НТУ «Интеграционные образовательные программы в области жизни». Задачей центра будет прежде всего образовательная деятельность – подготовка магистерской программы, специальных семинаров, лекций для школьников, учителей и студентов. Кроме того, центр будет проводить научные исследования в области каталитической химии, электрохимии, химии окружающей среды. Входит НОЦ «Химия в интересах устойчивого развития» – химия жизни» директором заместителем НТУ им.Ломоносова, который широко известен и имеет давний репутационный достояние по программе «Химия в интересах устойчивого развития». В.В.Линч представлял Россию на учредительном собрании Международной Зеленой ассоциации (руководитель – проф. П.Т.Мод), которое состоялось в декабре 2007г. в Венеции, Италия.

На нашем сайте вы можете прочитать материалы, интересные для ученых, работающих в области зеленой химии: для студентов химических и смежных специальностей; для учителей химии, географии, биологии, экологии, которые ищут литературу по данной проблеме; для школьников, которые интересуются химией; наконец, для всех людей, которые неравнодушны к экологическим проблемам, возникающим в результате взаимодействия химических веществ на природе.

Рис. 4. Заставка Интернет-сайта «Новый органический практикум»,  
www.oc-praktikum.de



**Рис. 5.** Инфракрасная съемка потерь тепла при нагревании реакции с помощью электроплитки



**Рис. 6.** Инфракрасная съемка потерь тепла при нагревании реакции с помощью масляной бани



**Рис. 7.** Хромато-масс-спектрометр Trace DSQ II, приобретенный в рамках инновационного проекта



**Рис. 8.** Заведующий лабораторией кристаллохимии Химического факультета МГУ Ю.А. Словохотов демонстрирует приобретенный в рамках инновационного проекта дифрактометр.