

В.И. Курашов

Супрамолекулярная и нанохимия: философско-методологический анализ

Курашов Владимир Игнатьевич – доктор философских наук, заведующий кафедрой философии и истории науки. Казанский национальный исследовательский технологический университет. Российская Федерация, 420015, г. Казань, ул. Карла Маркса, д. 68; e-mail: v.kurashov@mail.ru

Традиционная химия занималась и занимается преимущественно планированием и реализацией синтеза соединений на макроскопическом уровне видения объекта. Предмет химии и смежных областей существенно расширился с возникновением и последующим развитием супрамолекулярной химии и нанохимии. Нанонаука – **целенаправленная** познавательная деятельность, вырабатывающая системное знание о размерных явлениях, связанных с вещественными образованиями от единиц до сотен нанометров: об их структуре, методах изучения и управления, способах получения и практического применения. Особенность нанонауки, в частности нанохимии, заключается в создании методов исследования, управления и/или манипуляции веществом вплоть до единичных атомов и молекул. Супрамолекулярная химия – это химия мультимолекулярных, или полимолекулярных, устойчивых образований, создаваемых на основе мультицентровых нековалентных взаимодействий. Супрамолекулярная химия и нанохимия – результат раскрытия новой области химии и смежных наук в процессах взаимосвязей научно-технологического знания. Ситуация в химии на рубеже XX–XXI вв., характерная черта которой – размерные эффекты наноуровня, подобна ситуации рубежа XIX–XX вв., когда зародилась квантовая механика, также характеризующаяся исследованием размерных эффектов. Супрамолекулярная химия и нанохимия расширяют знание о пределах познания мира и разнообразии вещественных структур. Названные реалии развития естествознания и технологии открыли новые горизонты для разнообразных направлений историко-научных и философско-методологических исследований в области конвергенции наук, технологий и мультифакторных Нано-Био-Информационно-Когнитивно-Социогуманитарных (НБИКС) процессов в целом. В итоге в наше время произошло углубление научной и/или философской проблемы «силы слабых», а также расширение знаний о селективных действиях и распознавании при взаимодействии систем различной природы и различного уровня организации. Все это своеобразно формулируется и переосмысливается для систем неорганического, органического и социального миров, что приводит к новой постановке вопроса о конечности и бесконечности вещественного разнообразия мира в контексте новых данных современного естествознания.

Ключевые слова: конвергенция наук и технологий, НБИКС-процессы, взаимодействие наук, супрамолекулярная химия, нанохимия, молекулярное распознавание и транспортные процессы, размерные эффекты, предмет и история естествознания, философия и методология науки

Введение

При восприятии материала данной работы важно учитывать не только сходства и общие объектные области супрамолекулярной химии и нанохимии, но и их существенное различие. Главные свойства супрамолекулярных систем – это кооперативность, селективность и распознавание, а наносистем – размерные эффекты.

Супрамолекулярная химия и нанохимия расширяют знание о пределах познания мира в естествознании [Лен, 1998; Стойков, Антипин, Коновалов, 2010] и разнообразии вещественных структур материального мира [Курашов, 2007, с. 240–316; Курашов, 2009, с. 470–506]; определяют новые прорывные применения в медицине [Курашов, 2012, с. 297–306], например, при решении проблем адресной доставки лекарств [Zakharova, Pashirova, Kashapov, Gabdrakhmanov & Sinyashin, 2017].

Супрамолекулярная химия: коллективная сила слабых связей

Традиционная химия занималась и занимается преимущественно планированием и реализацией синтеза соединений с ковалентными связями. Супрамолекулярная химия – это химия мультимолекулярных, или полимолекулярных, устойчивых образований, создаваемых на основе мультицентровых нековалентных взаимодействий. Нужно различать два типа супрамолекулярных (организованных) структур, способных к взаимодействиям «гость–хозяин»: супермолекулы, для которых характерны высокоселективные взаимодействия (каликсарены, кукурбитурилы, циклодекстрины), и супрамолекулярные ансамбли, формируемые за счет кооперативных взаимодействий и/или сольвофобных эффектов (мицеллы, микроэмульсии, везикулы). Преимущественно это химия получения новых соединений, т. е. синтетическая химия. Синтез же – сердце химии и химической технологии.

Межмолекулярные взаимодействия (ММВ) в конденсированной фазе (жидкой, твердой, аморфной) обуславливают иные свойства вещества по сравнению с газовой фазой. Особенности организации молекулярных структур, вызванные нековалентными ММВ, стали предметом новой области теоретических и экспериментальных исследований и прикладных технологических решений – супрамолекулярной химии. Обширный новый класс вещества, раскрытый в сфере развития супрамолекулярной химии, – это, можно сказать, класс соединений, где реализуется коллективная сила слабых связей.

Природа и характер ММВ различен. Ван-дер-Ваальсовы (ВВ) взаимодействия (дисперсионные, ориентационные, индукционные) относятся к неспецифическим взаимодействиям. Специфические взаимодействия входят в смысловое поле архаического понятия «химическое сродство», поскольку это взаимодействия между определенными группами молекулярных структур, в которых выделяются доноры и акцепторы электронов. Прежде всего специфическими являются водородные связи: при их образовании акцептор электронов – протон – принимает электроны от доноров – атомов кислорода, азота, серы и др. Водородные связи определяют конфигурацию вторичной структуры ДНК, ча-

шевидную конфигурацию каликсаренов, а кроме того, они, конечно, влияют на параметры кинетики химических реакций и их энергетику (например, эффекты катализа). Надо иметь в виду, что в супрамолекулярных системах могут иметь место и координационные связи различных лигандов с ионами металлов, что часто обуславливает наличие «удивительных» свойств таких систем.

В целом можно сказать, что ММВ, кооперативные эффекты, связанные с ними, появление новых целостных свойств у устойчивых мультимолекулярных образований (переход от частей к целому), а также явления, называемые емким словом «распознавание», составляют обширный предметный раздел современной химии.

Для выделения особой точки в траектории развития химии важно подчеркнуть следующее: химия всегда была по большей части химией атомных образований с ковалентными связями. В первую очередь речь идет об органической химии, биохимии, биоорганической химии. Конечно, химикам и физикам до появления супрамолекулярной химии были известны нековалентные связи (они перечислены выше). Но, во-первых, теоретическая и экспериментальная база (особенно инструментальная база по выделению и идентификации полимолекулярных систем) была недостаточной, а во-вторых, наука и промышленность до второй половины XX в. были полны проблем, связанных с синтезом ковалентных соединений.

Одно из ключевых понятий супрамолекулярной химии – «молекулярное распознавание». Э. Фишер в 1894 г. сформулировал знаменитый принцип «ключ–замок», предполагающий, что в основе молекулярного распознавания лежат стерическое соответствие и геометрическая комплементарность рецептора и субстрата. Селективное связывание требует взаимодействия, средства между партнерами, и корни этой идеи лежат в теории координации А. Вернера, что делает супрамолекулярную химию обобщением и развитием координационной химии.

Надо сказать и о языке супрамолекулярной химии. Наука – это главная составляющая интеллектуальной культуры, естествознание – часть этой составляющей, химия – часть этой части, а супрамолекулярная химия – своеобразная субкультура в той части интеллектуальной культуры, которая относится к химии и смежным наукам. Всякая субкультура поддерживается своеобразным языком. На сегодняшний день он вполне сложился, что отражается уже в самом названии области. Три понятия – связывание, распознавание и координация – заложили фундамент супрамолекулярной химии. Другое ключевое понятие – супраструктура [Лен, 1998; Стойков, 2001]. К ядру теоретического словаря супрамолекулярной химии относятся также следующие понятия: молекулярное распознавание, фиксация, комплементарность, рецептор, субстрат, полимолекулярный супрамолекулярный ассоциат, супрамолекулярный ансамбль, молекулярная информатика, супрамолекулярный уровень информации.

Не претендуя на полноту, перечислю ряд направлений современной химии и технологии высокоорганизованных сред: 1) создание высокоселективных комплексообразователей для экстракции, разделения катионов и анионов, а также незаряженных органических соединений; 2) создание молекулярных устройств типа переключателей и проводников для электронных приборов и компьютерной техники на молекулярном уровне функционирования; 3) кон-

струирование супрамолекулярных систем, обладающих ионофорными, каталитическими и сенсорными свойствами; 4) исследование и моделирование биологических систем и процессов; 5) создание лекарственных препаратов с адресной доставкой; 6) конструирование полифункциональных наносистем на основе базового принципа супрамолекулярной химии «bottom-up» – нековалентной самосборки амфифильных соединений, полимеров и ионов металлов; 7) исследование механизмов самоорганизации молекулярных систем в искусственных и естественных условиях.

Нанохимия и нанотехнология

Ключевые и наиболее употребительные понятия в области нанохимии и нанотехнологий: нанонаука, наноструктура, наночастица, нанокластер (ультрадисперсный материал), нанопленка, нанотрубка, размерно-зависимое явление, наноструктурная организация твердых тел, наноструктурная организация растворов, мелкодисперсных и коллоидных систем, наноматериал, нанокompозит, нанофотоника (фотоэлектрические явления в наносистемах) и другие более частные термины.

Во многих публикациях появление нанотехнологии связывают с разработкой сканирующего туннельного микроскопа (СТМ), который позволяет исследовать рельеф поверхности на уровне атомно-молекулярных размеров. Первый СТМ был создан в 1981–1982 гг. Конечно, такой микроскоп «открыл глаза» ученым на мир микрообъектов наноуровня и тем самым способствовал как развитию фундаментальной науки – нанохимии, так и органично связанной с ней нанотехнологии. Принцип туннельного микроскопа основан на открытии туннельной колебательной спектроскопии одиночных молекул: «Туннельный ток, протекающий между иглой туннельного сканирующего микроскопа и поверхностью твердого тела, на котором под иглой “сидит” адсорбированная молекула, имеет резко выраженный резонансный характер. И резонансы наступают всегда, когда потенциал иглы (и, следовательно, энергия туннелирующих электронов) соответствует электронно-колебательным уровням адсорбированной молекулы» [Бучаченко, 1999, с. 116]. В 1986 г. был создан атомно-силовой микроскоп (АСМ). АСМ в отличие от СТМ позволил наблюдать на наноуровне объекты, которые являются не только токопроводящими.

С середины 90-х гг. XX в. нанотехнологии стали применяться в серийном производстве. В нанотехнологии различают два направления получения наносоединений – «сверху вниз» (от макроуровня к наноуровню) и «снизу вверх» (методами синтеза, или сборки, наноструктур из исходных молекулярных компонентов). Первый путь малопродуктивен – он, по сути, есть нечто близкое к механическому дроблению. Второй путь – основной, он исторически происходит из традиционных принципов химического синтеза.

Следует учитывать, что не все преобразования вещества есть нанотехнология. В нашем письменном столе имеются наноструктуры, и если мы по нему ударим молотком, то произойдут какие-то изменения на наноуровне, однако мы не станем при этом нанотехнологами. В нанохимии управление химиче-

ским процессом осуществляется на уровне наноразмеров, в то время как в традиционной химии и химической технологии процессы управляются на макроскопическом уровне.

Согласно рекомендации 7-й Международной конференции по нанотехнологиям (Висбаден, 2004 г.) выделяют следующие типы наноматериалов: нанопористые структуры, наночастицы, нанотрубки, нановолокна, нанодисперсии (коллоиды), наноструктурированные поверхности и пленки, нанокристаллы и нанокластеры.

В нанохимии изучаются физико-химические и биофизикохимические размерозависимые свойства объектов, у которых хотя бы один из размеров (сечений) составляет величину менее 100 нм. В нанохимии разрабатываются способы управления процессами на наноуровне, формирующие основу нанотехнологии, а также методы и инструменты достоверного контроля таких процессов на уровне наноразмеров.

Особенность нанохимии определяется тем, что ее объекты проявляют свойства, представляющие собой синтез свойств вещества в конденсированной твердой и жидкой фазе, свойства на поверхности раздела фаз и свойства в газовой фазе. Хорошо известно, что свойства одного и того же вещества в названных условиях (системах) различаются не только количественно, но и качественно. В сфере нанообъектов иногда теряется различие между органической и неорганической химией, наблюдается иная реакционная способность.

Особое значение имеют размерные эффекты объектов нанохимии, проявляющиеся в величине температуры плавления, оптических спектрах, кинетике процессов (на поверхности нанообъектов), термодинамических характеристиках. Такого рода объекты проявляют свойства, отличающиеся от свойств, которые те же вещества обнаруживают в неорганизованных макроскопических системах традиционной химии [Сергеев, 2006].

Завершая этот раздел, предложу для обсуждения варианты дефиниций основных понятий.

Нанонаука – целенаправленная познавательная деятельность, вырабатывающая системное знание о размерных явлениях, связанных с вещественными образованиями от единиц до сотен нанометров: об их структуре, методах изучения и управления, способах получения и практического применения. Существенная особенность нанонауки – создание методов исследования, управления и/или манипуляции веществом вплоть до единичных атомов и молекул. Нанонаука включает как фундаментальную естественнонаучную составляющую, так и прикладную, это мультидисциплинарная область научных исследований и технологических решений.

При таком определении область значений понятия «нанотехнология» входит в понятие «нанонаука». Нанонаука объединяет много разделов современного естествознания, которые «обрели зрение» на наноуровне или получили инструментальную возможность наблюдать и конструировать наномир. Среди них нанофизика, наномеханика, нанохимия, нанобиомедицинская физика и химия, нанофармакология и фармация, наноэлектроника, наноробототехника, технология нанореакторов и/или нанокластеров, нанооптика, электроника и магнетизм, конструирование наномеханизмов, машин и транспортных средств на структурных уровнях единичных молекул и др.

Нанохимия – принципиальная составляющая нанонауки. Предельно краткое ее определение: химия наноразмерных частиц. Следует учитывать, что общее понятие «химия» включает многие разделы, в том числе неорганическую, органическую, аналитическую, физическую, биофизическую, биоорганическую, биологическую, фармацевтическую химию, катализ, химическую технологию. Общее понятие «нанохимия» аналогичным образом делиться на разделы. В тех из них, где размерные эффекты и явления распознавания изучаются совместно, имеет место взаимосвязь и взаимодействие нанохимии и супрамолекулярной химии.

При всех особенностях нанохимия представляет собой раздел химии. В связи с этим приведу сформулированное мной определение понятия «химия» с учетом современного состояния естествознания: «Химия – это наука о материальных естественных и искусственных объектах атомно-молекулярного и супрамолекулярного уровня организации, изучающая их структуру и качественные превращения в исследованиях явлений как на макроскопическом уровне, так и на уровне размерных эффектов и специфических механизмов наноуровня. Объекты химии сами по себе относятся к неживой природе, хотя некоторые из них – биомолекулы – являются неотъемлемыми составляющими живых организмов» [Курашов, 2009, с. 95–96].

Заключение

1. Супрамолекулярная химия и нанохимия – результат раскрытия новой области химии и смежных наук в конвергентных процессах взаимосвязей научно-технологического знания. Данные области соизмеримы по значимости с традиционной химией, они существенно расширяют горизонты мультидисциплинарных областей естествознания и техники и, можно сказать, удваивают объект-предметную область химии.

2. Ситуация в нанохимии на рубеже XX–XXI вв. похожа на ситуацию рубежа XIX–XX вв., когда зародилась квантовая механика. Характерная черта последней – микроразмерные эффекты, и при их описании классическая физика с ее «макроскопическим» языком оказалась неприменимой. Характерной чертой нанохимии также являются размерные эффекты наноуровня, для описания которых «макроскопический» язык классической химии непригоден.

3. Развитие естествознания и технологии в направлении работы с микроразмерными объектами открыло новые горизонты для разнообразных направлений историко-научных и философско-методологических исследований в сферах конвергенции наук и технологий, функционирования общенаучных принципов соответствия и дополнительности, а также мультифакторных НБИКС процессов конвергенции и системного подхода в целом. Назову еще ряд конкретных перспективных направлений философско-методологических исследований:

переосмысление вопроса о конечности и бесконечности вещественного разнообразия мира в контексте новых данных современного естествознания;

изучение исторического и актуального взаимодействия новых классов материальных объектов естественного и искусственного миров, включая взаимосвязь и взаимодействие научно-технического и философско-методологического знаний в этой области;

выявление новых закономерностей и форм развития научного знания (например, от получения и изучения полимеров в искусственных условиях к открытию и изучению биополимеров; или, наоборот, от открытия естественной супрамолекулы ДНК к искусственному синтезу разнообразных супрамолекул, а далее – вновь к открытию новых супрамолекул в живых системах);

расширение горизонтов общенаучной и/или философской проблемы «силы слабых», которая своеобразно формулируется и переосмысливается для систем неорганического, органического и социального миров;

расширение знаний о селективных действиях и распознавании при взаимодействии систем различной природы и различного уровня организации;

анализ новых форм конвергенции научно-технического знания, в частности, единства фундаментальных и прикладных знаний, периодической обратимости и дополнительности знаний о естественном и искусственном вещественных мирах, а также в сфере молекулярной информатики.

4. Большинство ученых, работающих в областях супрамолекулярной химии, нанохимии и их технологических приложениях, с которыми я активно общаюсь, не только не знают недавно введенного понятия «НБИКС-революция» [Алексеева, Аршинов, 2016], но и введенных в научный оборот ранее понятий «НБИК-конвергенция» и «НБИКС-конвергенция». Поскольку НБИКС-конвергенция находится в фазе экспоненциального роста, необходимо налаживать более тесное и активное взаимодействие философов науки и представителей естествознания.

В заключение хочу выразить благодарность Виталию Георгиевичу Горохову, выдающемуся специалисту в области философии техники, с которым меня неоднократно сводила научная жизнь. Я очень рад, что он уделил внимание и дал высокую оценку моей работе «История и философия химии» [Горохов, 2010, 2011].

Список литературы

Алексеева, Аршинов, 2016 – Алексеева И.Ю., Аршинов В.И. Информационное общество и НБИКС-революция М.: ИФ РАН, 2016. 196 с.

Бучаченко, 1999 – Бучаченко А.Л. Химия на рубеже веков: свершения и прогнозы // Успехи химии. 1999. Т. 68. № 2. С. 99–117.

Горохов, 2011 – Горохов В.Г. Рец. на кн.: Курашов В.И. История и философия химии. Учеб. пособие. М.: КДУ, 2009. 608 с. // Вопр. философии. 2011. № 4. С. 186–187.

Курашов, 2007 – Курашов В.И. Начала философии науки. М.: КДУ, 2007. 448 с.

Курашов, 2009 – Курашов В.И. История и философия химии. М.: КДУ, 2009. 608 с.

Курашов, 2012 – Курашов В.И. История и философия медицины в контексте проблем антропологии. М.: КДУ, 2012. 368 с.

Лен, 1998 – Лен Ж.-М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы / Пер. с англ. под ред. В.В. Власова, А.А. Варнека. Новосибирск: Наука, 1998. 334 с.

Сергеев, 2006 – Сергеев Г.Б. Нанохимия. М.: КДУ, 2006. 336 с.

Стойков, Антипин, Коновалов, 2010 – Стойков И.И., Антипин И.С., Коновалов А.И. Синтетические рецепторы: Основы дизайна, концепции, методы конструирования на основе (тия)каликс[4]аренов, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010. 272 с.

Стойков, 2001 – Стойков И.И. Начала супрамолекулярной химии. Казань: Регентъ, 2001. 140 с.

Gorokhov, 2010 – *Gorokhov V.G.* «Review: Vladimir I. Kurashov: History and Philosophy of Chemistry (In Russian), Moscow: KDU, 2009. 608 pp. // HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry. 2010. Vol. 16. No. 2. P. 121–125.

Zakharova, Pashirova, Kashapov, Gabdrakhmanov & Sinyashin, 2017 – *Zakharova L., Pashirova T., Kashapov R., Gabdrakhmanov D. & Sinyashin O.* Drug delivery mediated by confined nanosystems: structure-activity relations and factors responsible for the efficacy of formulations // *Nanostructure for drug delivery* / Ed. by E. Andronescu, A. Grumezescu. Amsterdam: Academic Press, 2017. P. 749–806.

Supramolecular and nanochemistry: philosophical-methodological analysis

Vladimir I. Kurashov

Kazan National Research Technological University. 68 Karl Marx Str., Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: v.kurashov@mail.ru

Traditional chemistry has been and is primarily concerned with the planning and implementation of synthesis of compounds at the macroscopic level of viewing the object. The subject of chemistry and related areas has expanded significantly from the onset and development of supramolecular chemistry and nanochemistry. Nanoscience is a purposeful cognitive activity that develops system knowledge about dimensional phenomena associated with material formations from units to hundreds of nanometers: their structure, methods of studying and controlling, methods of obtaining and practical application. Supramolecular chemistry is the chemistry of multimolecular, or polymolecular, stable formations created on the basis of multicenter non-covalent interactions. The peculiarity of nanoscience, in particular nanochemistry, is the creation of methods for studying, controlling and/or manipulating matter up to single atoms and molecules. Supramolecular chemistry and nanochemistry are the result of the discovery of a new field of chemistry and related sciences in the processes of interrelations of scientific and technological knowledge. The situation at the turn of XX–XXI centuries, the characteristic feature of which is the dimensional effect of the nanoscale, similar to the situation of the turn of the XIX–XX centuries, when quantum mechanics was born, whose characteristic feature are, similarly, the dimensional effects. Supramolecular chemistry and nanochemistry expand the knowledge about the limits of knowledge of the world and the diversity of physical structures. The above-named trajectories of science and technology development have opened new horizons for a variety of trends for development in historical and scientific, philosophical and methodological research in the areas of convergence of sciences, technologies and multifactorial Nano-Bio-Information-Cognitiv-Sociohumanistic (NBICS) processes in general. As a result, in our time, there has been a deepening of the scientific and/or philosophical problem of the “strength of the weak”, as well as the expansion of knowledge about selective actions and recognition in the interaction of systems of different nature and different levels of organization. All this is formally formulated and reinterpreted for systems of inorganic, organic and social worlds, which leads to a new formulation of the question of the finiteness and infinity of the world’s material diversity in the context of new data of modern natural science.

Keywords: convergence of sciences and technologies, NBICS-processes, interplay of sciences, supramolecular chemistry, nanochemistry, molecular recognition and transport processes, dimensional effects, subject and history of natural science, philosophy and methodology of science

References

- Alekseeva, I. Yu. & Arshinov, V. I. *Informatsionnoe obshchestvo i NBIKS-revolutsiya* [Informational Society and NBICS-revolution]. Moscow: IF RAN Publ., 2016, 196 pp. (In Russian)
- Buchachenko, A. L. “Khimiya na rubezhe vekov: sversheniya i prognozy” [Chemistry between Centuries: Advances and Prognostications], *Uspehi khimii*, 1999, vol. 68, no. 2, pp. 99–117. (In Russian)
- Gorokhov, V. G. “Retsenziya na knigu: V.I. Kurashov. Istoriya i filosofiya khimii. Uchebnoe posobie. Moscow: KDU, 2009, 608 s.” [Review: Vladimir I. Kurashov: History and Philosophy of Chemistry. Moscow: KDU, 2009, 608 pp.], *Voprosy filosofii*, 2011, no. 4, pp. 186–187. (In Russian)
- Kurashov, V. I. *Nachala filosofii nauki* [The Principles of Philosophy of Science]. Moscow: KDU Publ., 2007. 448 pp. (In Russian)
- Kurashov, V. I. *Istoriya i filosofiya khimii* [History and Philosophy of Chemistry]. Moscow: KDU Publ., 2009. 608 pp. (In Russian)
- Kurashov, V. I. *Istoriya i filosofiya meditsiny v kontekste problem antropologi* [History and Philosophy of Medicine in the Context of the Problems of Anthropology]. Moscow: KDU Publ., 2012. 368 pp. (In Russian)
- Lehn, J.-M. *Supramolekulyarnaya Khimiya. Kontseptsii i Perspektivy* [Supramolecular Chemistry: Concepts and Perspectives], trans. by V.V. Vlasov & A.A. Varneka. Novosibirsk: Nauka Publ., 1998. 334 pp. (In Russian).
- Sergeev, G. B. *Nanokhimiya* [Nanochemistry]. Moscow: KDU Publ., 2006. 336 pp. (In Russian)
- Stoikov, I. I., Antipin, I. S. & Konovalov, A. I. *Sinteticheskie retseptory: Osnovy dizaina, kontseptsii, metody konstruirovaniya na osnove (tia)kaliks[4]arenov* [Synthetic receptors: principles of the design, conceptions, methods of construction on the basis of (thia)calix[4]arenes]. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010. 272 pp. (In Russian).
- Stoikov, I. I. *Nachala Supramolekularnoi Khimii* [The Principles of Supramolecular Chemistry]. Kazan: Regent Publ., 2001. 140 pp. (In Russian)
- Gorokhov, V. G. “Reviem: Vladimir I. Kurashov: History and Philosophy of Chemistry (In Russian), Moscow: KDU, 2009, 608 pp., ISBN 978-5-98227-563-9”, *HYLE-International Journal for Philosophy of Chemistry*, 2010, vol. 16, no. 2, pp. 121–125.
- Zakharova, L., Pashirova, T., Kashapov, R., Gabdrakhmanov, D. & Sinyashin, O. “Drug delivery mediated by confined nanosystems: structure-activity relations and factors responsible for the efficacy of formulations”, *Nanostructure for drug delivery*, ed. by E. Andronescu & A. Grumezescu. Amsterdam: Academic Press, 2017, pp. 749–806.