

ПРОБЛЕМНАЯ СТАТЬЯ

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ БИОЭЛЕМЕНТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ БИОЭЛЕМЕНТОЛОГИИ

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF BIOELEMENTS AND THE PROSPECTS OF BIOELEMENTOLOGY

А.В. Скальный*
A.V. Skalny*

НИИ биоэлементологии, ГОУ ВПО Оренбургский государственный университет
Institute of Bioelementology, Orenburg State University, Orenburg, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: биоэлемент, биоэлементология, науки о жизни, интегративная концепция

KEY WORDS: bioelement, bioelementology, life science, integrative concept

РЕЗЮМЕ: В статье развивается выдвинутая автором концепция биоэлементов и намечаются пути развития нового научного направления — биоэлементологии. Известно, что химические элементы существуют в живом организме в виде набора определенных химических соединений («блоков жизни»), тесно взаимодействующих с другими компонентами. Автор предлагает называть биоэлементами элементарные единицы функционирования живой материи, которые являются биологически активными комплексами химических элементов в виде атомов, ионов или наночастиц с органическими соединениями экзогенного и эндогенного происхождения. Научную дисциплину, изучающую биоэлементы и их функционирование в живом организме и биосфере, предлагается называть биоэлементологией. Эта дисциплина интегрирует возможности биоорганической химии, биоинорганической химии, биофизики, молекулярной биологии и других частей науки о жизни.

ABSTRACT: The article develops the proposed concept of bioelements and outlines development paths for new scientific field, the bioelementology. It is known that chemical elements exist in living organism as a set of certain chemical species («blocks of life») having close interaction with other components. The author proposes to call them bioelements: the elementary functioning units of living matter, which are biologically active complexes of chemical elements as atoms, ions or nanoparticles with organic compounds of exogenous or endogenous origin. The scientific discipline, which study bioelements and their

functioning in living organism, is proposed to be called bioelementology. This discipline integrates capabilities of bioorganic chemistry, bioinorganic chemistry, biophysics, molecular biology and other parts of life sciences.

Развитие человечества приводит к необходимости постановки концептуальных мировоззренческих вопросов, связанных с возникновением и эволюцией живой материи, пониманием и корректным применением терминов «жизнь» и «живое».

Чтобы осознать все возрастающее количество вызовов самому существованию жизни антропогенного (угроза ядерной войны, техногенные экологические катастрофы и т.д.), климатического (глобальное потепление, эрозия), космопланетарного (угроза столкновения с космическими объектами, изменения в деятельности солнца и т.п.) происхождения и научиться справляться с ними, требуется формирование нового стиля мышления на основе новых парадигм, которое приведет к революциям в науке, смене «понятийной сетки, через которую ученые рассматривают мир» (Кун, 1975). Как указывает Г. Линг (2008), история физиологии наглядно демонстрирует, что стиль мышления не может быть моноцентричным (молекулярным, клеточным, тканевым, органным, организменным, популяционным, биосферным); в современной физиологии как фундаментальной науке он должен быть системным, многоуровневым.

Пока же изучение материального мира чрезвычайно фрагментировано, все попытки создания всеобъемлющей науки о жизни не получили раз-

* Адрес для переписки: Скальный Анатолий Викторович, д.м.н., проф.; E-mail: skalny3@microelements.ru

вития. В результате происходит накопление огромного количества новых фактов, не подвергнутых достаточному анализу и систематизации. Это снижает экономическую эффективность научных исследований, так как не приводит к решению многих научных проблем человечества (проблема рака, СПИДа, нейродегенеративных заболеваний, старения и др.) или замедляющих (не сокращающих) путь к их решению из-за отсутствия стратегии научного поиска. Наука должна иметь свое завершение, конкретный результат, иначе бесконечность накопления фактов приведет к ее концу — «Предел науки — бесконечность» (Hagen, 1986).

Из-за отсутствия стройной теории, определяющей стратегию поиска новых средств диагностики и лечения заболеваний, продуктов биотехнологии, путь к новым технологиям очень сложен и затратен, как по времени, так и по финансовым средствам. Эмпирические методы создания новых технологий и препаратов без стройной теории остаются весьма дорогостоящими, потому что их поиск ведется практически вслепую. «Огромные средства бросаются на ветер в то время как в бедных странах больные СПИДом остаются умирать, как брошенные кошки или собаки» (Линг, 2008).

В современной науке исследования раздроблены на небольшие этапы, в соответствии с небольшими дозами финансовых вливаний (скудный бюджет НИИ и вузов, в основном мелкие гранты), которыми они поддерживаются. Все меньше в науке ученых, работающих на глобальные перспективы, пытающихся решать научные вопросы, требующие постоянных усилий на протяжении всей жизни (Поллак, 2008).

По мнению автора фундаментального труда «Химия лекарств» профессора А. Бюргера (Burger, 1960), «нам покорились бы почти все проблемы химии лекарств, имей мы хотя бы отдаленное представление о взаимодействии препаратов с химическими компонентами организма».

Многие научные дисциплины из-за несоответствия мировоззренческих подходов, стиля научного мышления современному этапу развития науки утратили четкие границы, понятийный аппарат зачастую размыт, что ведет к недопониманию и разночтениям даже в среде узких специалистов. Фрагментация — угроза будущему науки. По мнению Г. Линга (2008), физиология клетки, например, потеряла целостность очертаний, распавшись на биохимию, биофизику, фармакологию, биологию клетки, молекулярную биологию, математическую биологию и т.д. и т.п. Введение системы экспертных оценок раздробило области науки еще больше — по числу экспертов и руководителей, мнению которых жизненно необходимо соответствовать.

«Природа проста и не роскошествует излишними причинами», — говорил И. Ньютон, выражая солидарное мнение многих ученых о том, что при-

рода часто оказывается проще, чем наши представления о ней. Понимание этой истины и является ключом к познаваемости мира как извечной его тайны (Кант, 1994).

Согласно философскому принципу, известному как «бритва Оккама», из множества возможных объяснений естественно-научного явления следует выбирать наиболее простое, не нагромождая сущности. Так, из нескольких альтернативных теорий следует выбирать наиболее простую, а неизвестное следует пытаться объяснить в первую очередь известным, т.е. «то, что можно объяснить посредством меньшего, напрасно выражать посредством большего».

Таким образом, развивающийся методологический кризис науки, выражающийся в ее бесконечном дроблении, необходимо остановить. По меткому выражению Г. Линга (2008), узкого специалиста можно уподобить астроному, изучающему небо со дна колодца. При этом, не увидев целого, невозможно понять внутреннюю простоту и логичность природы. Исходя из этого, необходимо опять начать с объединяющей теории (теорий) или, точнее сказать, опять вернуться к вопросу о создании единой науки о жизни, с ясными целями и задачами, соответствующими современному уровню развития науки и общества и направленными на решение важнейшей задачи — выживания человечества, сохранения и развития жизни как космопланетарного феномена.

Стремление к интеграции «органического» и «неорганического» подходов в изучении биологической роли химических элементов прослеживается в целом ряде фундаментальных работ, изданных за рубежом (Iyengar, 1991; Fraústo da Silva, Williams, 2001 и др.). Нами (Скальный, 2004; Скальный, Рудаков, 2005) выдвинута и развивается концепция биоэлементов и биоэлементологии (или биомики) как интегративного и системного научного направления.

Предтечей биоэлементологии мы считаем гениального российского ученого В.И. Вернадского. Многие идеи, приближающие нас к развитию учения о биоэлементах, высказаны в работах целого ряда зарубежных (Markert, 1996; Fraústo da Silva, Williams, 2001; Marth, 2008 и др.) и отечественных (Кист, 1987; Казначеев, Спирин, 1991; Биккулова, Ишмуратова, 1999; Dobretsov et al., 2008) ученых в частности.

Если химический элемент — это физико-химическая единица эволюции материи, то биоэлемент — это предшественник биологической единицы, имеющий физико-химическую природу.

Основываясь на учении В.И. Вернадского о биосфере (Вернадский, 2002), мы проводим четкую аналогию между предложенными им терминами «косное вещество» и «биокосное вещество», т.е. «биоэлементы» («бионы»), которое является переходной формой между неживой и живой материей (табл. 1).

Таблица 1. Основные фундаментальные свойства химических элементов и биоэлементов (основано на идеях В.И. Вернадского)

Химический элемент	Биоэлемент
Существует в биосфере и вне ее. Масса практически безгранична	Существует только в биосфере. Вне биосферы существование невозможно или кратковременно. Масса ограничена
Количественных пределов нет	Количественный предел существует (зависит от пространства биосферы), так как площадь, доступная к заселению организмами, ограничена
	Предельное количество биоэлементов в «массе жизни» — величина постоянная в течение геологического времени
Существует в составе 2000—3000 видов минералов и соответствующих им химических соединений	Существует в составе миллионов биохимических соединений
Вовлекается в создание косного естественного тела физико-химическими и геологическими процессами, безотносительно к ранее бывшим естественным телам	Так же как живой организм рождается только из другого живого организма, так и новый биоэлемент появляется при биохимических превращениях, предшествовавших соединений (живых тел, содержащих биоэлементы). В ходе геологического времени происходят некие качественные изменения форм существования биоэлементов, приводящие к эволюции видов или гибели некоторых из них
Процессы его образования могут происходить и в живых телах, изменяясь в своих проявлениях и давая биокосным естественным телам абиоэлементы, внедренные в живое естественное тело (например, конкременты в почках)	Биоэлемент образуется не только в ходе естественных биохимических превращений из других живых тел, содержащих биоэлементы, но и может создаваться в результате направленной деятельности человека (промышленный синтез биоэлементов, биотехнологические процессы) из абиотических веществ
Процессы превращений абиоэлементов в косное вещество, как и процессы, создавшие косное естественное тело, обратимы во времени	Процессы образования биоэлемента (т.е. формы существования химического элемента в биосфере), как и процессы, создающие живое естественное тело, необратимы во времени
Число абиоэлементов, как составных частей косных естественных тел, не зависит от размеров планеты, а определяется свойствами планетной материи — энергией	Число биоэлементов, как и число живых естественных тел, ограничено размерами биосферы (на Земле)

Известно, что химические элементы существуют в организме не сами по себе, но в тесном взаимодействии с другими компонентами. В клетке нет каких-либо особенных элементов, характерных только для живой природы. На атомном уровне различий между химическим составом неорганического и органического мира нет. Различия обнаруживаются на молекулярном, более высоком уровне организации.

Атомы, ядра атомов, элементарные частицы и связывающие их поля, которые на физико-химическом этапе эволюции имеют самостоятельное значение, в составе биологических молекул теряют это самостоятельное значение и играют свою роль в ансамбле, который мы называем биоэлементом, или бионом, в котором все взаимозависимо, более совершенно и при этом более уязвимо внешним воздействиям. Поскольку общие условия

биологической эволюции (состав биосферы) эволюционно изменяются, набор биоэлементов (бионов) в живом организме также может изменяться. Это отличает их от химических элементов как объектов физико-химической стадии, которые в течение эволюции остаются тождественными самим себе. Итак, биоэлемент это элементарная единица функционирования живой материи, которая является биологически активным комплексом химических элементов в виде атомов, ионов и наночастиц с органическими соединениями экзогенного (первичные) или биогенного (вторичные) происхождения.

Биоэлементы постоянно могут образовываться из ионных соединений при проникновении их в клетку. Внутри клетки, т.е. в пространстве, ограниченном клеточной мембраной, биополимеры и их комплексы осуществляют сложнейшую, согла-

сованную и регулируемую систему превращений веществ. Именно клетка является основным местом естественного рождения новых биоэлементов и их распада.

Согласно современным представлениям, процессы жизнедеятельности не могут протекать вне клетки. Поэтому клетка рассматривается в качестве мельчайшего кванта жизни, который для управления своими внутренними параметрами, а также для осуществления межклеточных взаимодействий использует получаемые из окружающей среды информацию, энергию, вещество, включая биоэлементы. Биоэлемент — еще вещество. Клетка (организм) — уже существо.

В принципе, к биоэлементам можно отнести любые химические структуры, встречающиеся в живой природе, но не обладающие совокупностью основных свойств живого: метаболизмом, изменчивостью, самовоспроизведением и наследственностью. В первую очередь это представители четырех классов малых органических молекул, входящих в состав клетки-аминокислоты, нуклеотиды, сахара, жирные кислоты, а также ионы и вода.

Биоэлемент — это не химический элемент в составе молекулярного соединения, но это временно образуемый биоконплекс, где химический элемент связан ковалентной (хелатной) связью с органической молекулой. Они не должны рассматриваться отдельно, потому что, взаимодействуя, вместе они производят биологическое действие нового качества.

Исходя из представлений В.П. Казначеева и Е.А. Спирина (1991), можно считать биоэлементы внутренним условием (средой) существования биосистем, а электромагнитные компоненты — вне-

шним условием (средой). Биосфера — это совокупность биоэлементов и живых организмов, находящихся под постоянным регулирующим влиянием физико-химических факторов земного и космического происхождения.

Таким образом, в результате химической эволюции в условиях планеты Земля возникли живые системы, которые состоят из одного и того же набора молекул (биоэлементов), функционируют по одним и тем же законам, метаболизм в этих системах базируется на одних и тех же принципах, а система гомеостаза позволяет управлять потоками продуктов питания, энергии и информации.

Биологическая эволюция привела к резкому увеличению массы и разнообразия форм живого вещества планеты, в том числе к образованию новых химических соединений и молекул — новых (вторичных) биоэлементов.

Возникла биосфера как открытая термодинамическая система, в которой могут исчезать одни и появляться другие вторичные биоэлементы, тогда как набор первичных биоэлементов — прародителей жизни — вероятно, остается в основном стабильным.

Из простых биоэлементов образовались 4 фундаментальных компонента клеточной жизни, которые, согласно J.D. Marth (2008), подразделяются на 68 молекулярных строительных блоков («building blocks of life»). То есть из простейших биоэлементов образовались более сложные — молекулярные биоэлементы.

Следуя этой логике, мы предлагаем подразделять биоэлементы на простые (атомы, ионы и вода как универсальный растворитель) и сложные, состоящие из указанных выше 68 молекул (табл.2, подробнее см. Marth, 2008).

Таблица 2. Сложные (производные) фундаментальные компоненты клеточной жизни (по Marth, 2008)

Группа	Компоненты
Нуклеиновые кислоты	Дезоксиаденозин, дезоксицитидин, дезоксигуанозин, дезокситимидин, аденозин, цитидин, гуанозин, уридин
Гликаны	Фукоза, галактоза, глюкоза, глюкуроновая кислота, манноза, N-ацетилгалактозамин, N-ацетилглюкозамин, нейраминная кислота, ксилоза, нононовая кислота, октулозоновая кислота, арабиноза, арабинофураноза, колитоza, фруктоза, галактофураноза, галактуронозная кислота, глюколактиловая кислота, гептоза, легионаминовая кислота, маннуриновая кислота, N-ацетилфукозамин, N-ацетилгалактуронозная кислота, N-ацетилманнозамин, N-ацетилманнозаминуриновая кислота, N-ацетилмурамовая кислота, N-ацетилперозамин, N-ацетилквиновозамин, перозамин, псевдаминавая кислота, рамноза, талоза
Аминокислоты	Аланин, аргинин, аспарагиновая кислота, аспарагин, цистеин, глутаминовая кислота, глутамин, глицин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, фенилаланин, пролин, серин, треонин, триптофан, тирозин, валин
Липиды	Жирные ацилы, глицеролипиды, глицерофосфолипиды, поликетиды, преноловые липиды, сахаролипиды, сфинголипиды, стироловые липиды

Однако при рассмотрении биологической роли биоэлементов следует четко разделять два вопроса. Первый — это вопрос первоначального образования и участия биоэлементов в зарождении жизни. Второй вопрос — это вопрос, касающийся роли биоэлементов в условиях современной биосферы на антропогенном этапе ее развития. То есть следует разделять роль биоэлементов в начале формирования биосферы и современную роль биоэлементов. Если до и в начале формирования биосферы биоэлементы образовались путем обменного синтеза или привносились из Вселенной, то в настоящее время все более значительную роль приобретает биогенный синтез биоэлементов с помощью живых организмов.

Биоэлементы существовали и до возникновения жизни. Сама жизнь (с момента образования клетки) стала мощным и очень эффективным продуцентом и потребителем новых биоэлементов. Переход от анаэробной и аэробной жизни сопровождается увеличением спектра (ассортимента) биоэлементов. Поэтому не исключено эволюционное или революционное (с помощью новых технологий) образование новых форм клеток, а значит — жизни, которое может открыть перед человечеством как невиданные перспективы развития, так и новые угрозы его существованию, если процесс образования новых форм жизни будет бесконтрольным или недостаточно контролироваться.

Необходимо помнить, что набор биоэлементов — это необходимое, но не достаточное условие для образования живого. Во многих случаях в медицине, по нашему мнению, возможно использование биоэлементов для поддержания жизнедеятельности органов и тканей вместо использования клеточных культур и тканей, так как не всегда существует необходимость или возможность (в том числе по финансовым соображениям) восстановления функции веществом, органом, тканью, полностью идентичным живому (например, в трансплантологии, ортопедии, при лечении остеопороза, болезней кожи, волос и др.).

Таким образом, жизнь — это особенный феномен, возникший в результате многочисленных реакций и процессов, поддержание и эволюция которых взаимообусловлена и взаимозависима. «Реакция» образования и развития жизни как феномена природы — это цепь взаимозависимых превращений от химических элементов до биоэлементов и, далее, сложных биомолекул и систем, образующих органы и ткани, целостный организм как часть биосферы.

Биоэлементология как наука, изучающая биоэлементы и их функционирование в живом организме и биосфере в целом, является связующим звеном (своеобразным «мостиком») между химией и биохимией, физикой и биофизикой, другими естественнонаучными дисциплинами (рис. 1).

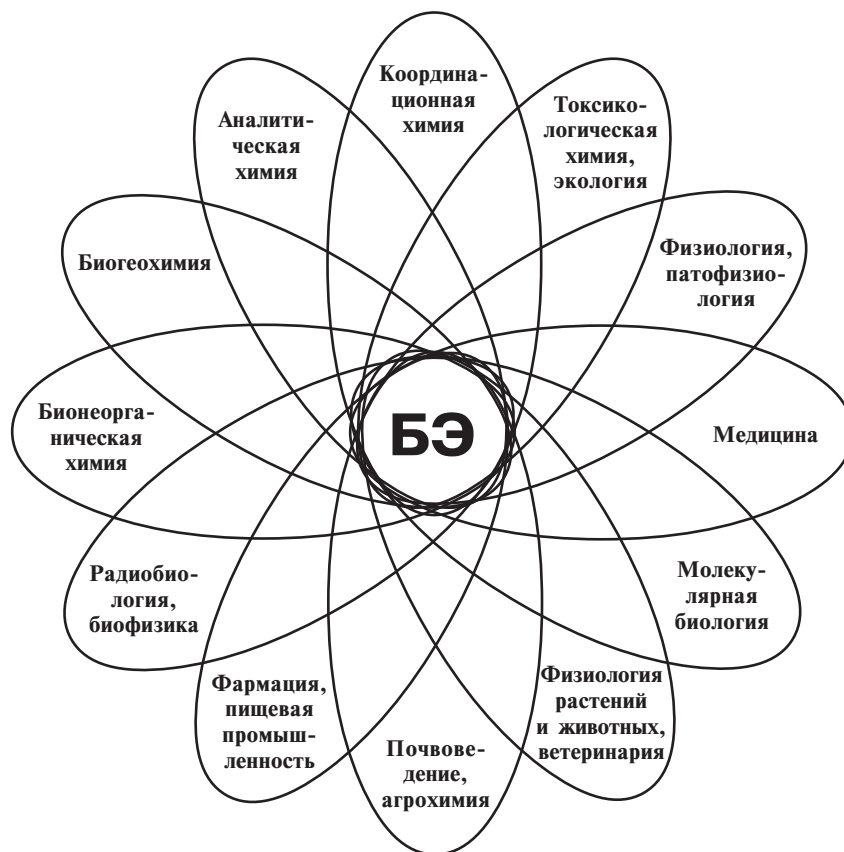


Рис. 1. Биоэлементология, интегративная схема

Биоэлементология как интегративная наука (Скальный, 2004; Скальный, Рудаков, 2005) базируется на идеях В.И. Вернадского и позволяет приблизить нас к пониманию происхождения жизни. В отличие от преобладающего в настоящее время молекулярного подхода, к сожалению не позволившего решить проблему происхождения жизни, несмотря на вовлечение в анализ новых биохимических факторов — нуклеиновых кислот, матричных механизмов преемственности и биохимической памяти (Казначеев, Спиринов, 1991), — биоэлементология, на наш взгляд, поможет более целостно рассмотреть условия возникновения жизни, так как наличие биоэлементов уже является самым важным условием ее поддержания. Окружающая живое вещество среда планеты (литосфера) и влияющее на нее космическое окружение обеспечивают необходимые материально-энергетические потоки для нормального функционирования и непрерывного возобновления структуры живого вещества.

Мы считаем, что развиваемая концепция биоэлементов подводит базу для интеграции биоорганической, бионеорганической химии, биофизики и молекулярной биологии и структурирования наук о жизни, разделяя их (после интеграции) на «предбиологию» и биологию. Личный опыт существования и развития созданных в 2003 г. кафедры нутрициологии и биоэлементологии Института биоэлементологии при ОГУ, дискуссии на международном симпозиуме «Биоэлементы» (2004, 2007) и на страницах тематического приложения «Биоэлементология» к журналу «Вестник ОГУ» убедили нас в актуальности и целесообразности развития биоэлементологии. Однако мы отдаем себе отчет в настоятельной необходимости обсуждения введенных в научный оборот новых или модифицированных использования уже известных терминов.

Развитие биоэлементологии может привести к созданию модифицированных клеток или технологий образования новых клеток, которые могут быть использованы в медицинских целях. Не вдаваясь в подробности, отметим только, что эта сказка может быстрее стать явью при правильной постановке задач, исходя из правильных представлений об иерархии «дожизненных» процессов и самой жизни, формировании на основе новых методических подходов, разделении эссенциальных веществ на необходимые и достаточные, первичные и вторичные, более четкого представления о границе между «до-живым» и «живым», между совокупностью биоэлементов и жизнью.

ЛИТЕРАТУРА

- Биккулова А.Г., Ишмуратова Г.М.* Биоэлементология s-, p-, d-элементов. СПб.: Наука, 1999. 256 с.
- Вернадский В.И.* Биосфера и ноосфера. М.: Рольф, 2002. 576 с.
- Казначеев В.П., Спиринов Е.А.* Космопланетарный феномен человека: проблемы комплексного изучения. Новосибирск: Наука, 1991. 304 с.
- Кант И.* Критика чистого разума. М.: Мысль, 1994. 591 с.
- Кист А.А.* Феноменология в биогеохимии и бионеорганической химии. Ташкент: Фан, 1987. 236 с.
- Кун Т.* Структура научных революций / Пер. с англ. И.З. Налетова. Общая ред. и послесловие С.Р. Микулинского и Л.А. Марковой. М.: Прогресс, 1975. 217 с.
- Линг Г.* Физическая теория живой клетки. Незамеченная революция. СПб.: Наука, 2008. 376 с.
- Поллак Дж.* Предисловие // Линг Г. Физическая теория живой клетки. Незамеченная революция. СПб.: Наука, 2008. С. 16—18.
- Скальный А.В.* Биоэлементология как синтезирующее направление в естествознании (приглашение к дискуссии) // Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение «Биоэлементология». 2004. № 4. С. 6—7.
- Скальный А.В., Рудаков И.А.* Биоэлементология — новый термин или новое научное направление? // Вестник Оренбургского государственного университета. Приложение «Биоэлементология». 2005. № 2. С. 4—8.
- Burger A.* Medicinal Chemistry. 2nd ed. New York: Interscience Publishers Inc., 1960. 1243 p.
- Dobretsov N., Kolchanov N., Rozanov A., Zavarzin G. (Eds.)* Biosphere Origin and Evolution. Springer-Verlag, Berlin, 2008. 408 p.
- Fraústo da Silva J.J.R., Williams R.J.P.* The biological chemistry of the elements: The inorganic chemistry of life. 2-nd Edition. Oxford: Oxford University Press, 2001. 575 p.
- Hagen R.S.* Windows to the Origin // Naval Research Reviews. 1986, 38:4.
- Iyengar G.V.* The need for multidisciplinary approaches in biological trace element research // Biological Trace Element Research. ACS Symposium Series, Vol. 445. Eds: Subramanian K.S., Iyengar G.V., Okamoto K. Washington DC: American Chemical Society, 1991. P. 1—13.
- Markert B.* Instrumental element and multi-element analysis of plant samples — methods and applications. 2nd ed. Wiley, New York, 1996. 296 p.
- Marth J.D.* A unified vision of the building blocks of life // Nat Cell Biol. 2008, 10(9):1015—1016.