

## Биологическая роль элементов и современная терминология для её характеристики

*В. П. Быстряков, доцент кафедры химии ВГУ им. П. М. Машерова,  
кандидат химических наук*

Термин *биогенные элементы* и другие термины, характеризующие биологическую роль элементов, часто используются не только учёными в научных публикациях, но и учителями. Однако современная терминология получила распространение сравнительно недавно. К примеру, в популярном до сих пор пособии для учителей Л. А. Николаева она ещё отсутствует [1]. И сейчас не все учителя химии и биологии умеют правильно ею пользоваться. Так, в недавно опубликованной методической статье учителя Л. И. Мериновой в журнале «Химия в школе» [2] учащимся предлагается охарактеризовать бор как обязательный для организма элемент (хотя необходимость бора пока не доказана для организма человека. — прим. авт.). Селен характеризуется в этой статье как «единственный элемент, который при высоком содержании в растениях может вызвать смерть животных и человека». О биогенности селена в статье не упоминается. Таким образом, биогенный элемент селен предлагается охарактеризовать исключительно как токсичный, что естественно вызывает возражения.

В химической и биологической научной и учебной литературе в настоящее время широко используется термин *биогенные элементы*, или сокращённо *биоэлементы* (от англ. *biogenous elements*). Синонимы этого термина — *биогены*, *жизненно необходимые элементы*, *эссенциальные* (последний термин является транскрипцией английского, точнее латинского слова — *essential* [3], что переводится как *необходимый, существенный, неотъемлемый*, и в основном встречается в англоязычных текстах).

В 70-е годы прошлого века В. В. Ковальский определял биогенные элементы, как *химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и имеющие определённое биологическое значение*. Эта формулировка вошла в Большую Советскую Энциклопедию. В Большом энциклопедическом словаре вторая часть вышеприведённого определения конкретизирована словами *выполняющие определённые биологические функции*. В Биологическом энциклопедическом словаре вторая часть формулировки В. В. Ковальского заменена на выражение *необходимые им для жизне-*

*деятельности* [4]. Она приводится и на сайте Всероссийского института научной и технической информации (ВИНТИ). Однако эта формулировка фактически является тавтологией, поскольку понятие *жизненно необходимый элемент* является синонимом термина *биогенный*.

В современной учебной литературе используются формулировки, в которых первая часть определения (*о постоянном присутствии в составе организмов*), данного В. В. Ковальским, отсутствует, а вторая часть раскрывается более подробно. В учебнике под редакцией Ю. А. Ершова она звучит так: *Элементы, необходимые для построения и жизнедеятельности различных клеток и организмов* [5]. Фактически такое же определение, в котором сокращено слово *различных*, использует А. В. Жолнин в конспекте лекций «Химия биогенных элементов» [6]. В учебном пособии Ю. В. Чистякова также приводится частично изменённый вариант формулировки из учебника под редакцией Ю. А. Ершова: *Элементы, необходимые для построения и жизнедеятельности различных клеток организма* [7]. Таким образом, для совре-

менных определений характерна связь понятия *биоэлементы* с составом и жизнедеятельностью клеток. Наконец имеется вариант формулировки, в котором выражение *необходимые для построения и жизнедеятельности* конкретизируется с использованием понятия *биологические функции*: *Биогенные элементы — химические элементы, которые, входя в состав клеток, выполняют биологические функции* [8].

В окружающей среде обнаружено около 90 элементов. Согласно биогеохимической теории В. И. Вернадского существует «биогенная миграция атомов», в результате которой *практически все элементы окружающей среды в той или иной степени проникают в живые организмы*. Однако длительное время эта идея рассматривалась как предположение в связи с незначительным содержанием большинства элементов в живых организмах и отсутствием высокочувствительных методов их определения. К настоящему времени в клетках различных живых систем обнаружено от 70 до 90 элементов [6; 9]. Современные физические методы анализа позволяют выявлять некоторые элементы при их содержании порядка  $10^{-10}$  % [10]. В сыворотке крови, например, количественно обнаружено 78 элементов [9]. Определение содержания всех элементов в живых системах, таким образом, принципиально возможно и со временем будет осуществлено. Более сложным является решение вопроса о биологической роли многих элементов, обнаруженных в живых организмах в микроколичествах.

В. И. Вернадский полагал, что все элементы, постоянно присутствующие в клетках организмов в естественных условиях, вероятно, играют определённую физиологическую роль. Бесспорно, признаётся жизненная необходимость (биогенность) 11 макроэлементов, содержание которых по массовой доле составляет более  $10^{-2}$  %. К ним относятся *органогены* — углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера, а также кальций, калий, натрий, магний и хлор [5]. К слову, иногда *органогенами*

называют только углерод, водород, кислород и азот [11]. К *микроэлементам* обычно относят элементы, содержание которых в организме не превышает тысячной доли процента [5]. Из сопоставления приведённых понятий макро- и микроэлементов видно, что элементы с содержанием от 0,01 до 0,001 % как бы выпадают. Поэтому встречается и такая формулировка: *Макроэлемент — химический элемент, содержащийся в теле живых организмов в концентрации выше 0,001 %*. В этом случае к макроэлементам будет относиться также железо и некоторые другие элементы. К микроэлементам в этом случае будут относиться элементы, содержание которых менее 0,001 %. Иными словами, количественная граница между макро- и микроэлементами не является строгой. В связи с этим понятие *микроэлементы* иногда формулируется без указания количественного содержания: *Химические элементы, содержащиеся в организмах в низких концентрациях и необходимые для их нормальной жизнедеятельности* [11]. Термин *микроэлементы* не является чисто биологическим, он используется также в геохимии, агрономии, где имеет, естественно, другое содержание. Что касается конкретного числа микроэлементов, биогенность которых установлена, и, соответственно, общего числа биогенных элементов, то в разных источниках приводятся различные цифры.

В. В. Ковальский, исходя из значимости для жизнедеятельности, разделил химические элементы, постоянно содержащиеся в организмах млекопитающих, на три группы:

1) *жизненно необходимые (незаменимые) элементы*. Они входят в состав ферментов, гормонов и витаминов. Кроме 11 макроэлементов в эту группу включены иод, марганец, медь, кобальт, железо, цинк, молибден, ванадий и другие — всего 19 элементов;

2) *примесные элементы*, физиологическая и биохимическая роль которых мало выяснена или неизвестна. К этой группе В. В. Ковальский отнёс 28 элементов;

3) *примесные элементы*, для которых нет данных не только о биологической роли, но и о количественном содержании [12].

В учебнике под редакцией Ю. А. Ершова указывается, что в настоящее время биогенность надёжно установлена для всех микроэлементов, относящихся к первой группе классификации Ковальского и для пяти микроэлементов, входящих во вторую группу, т. е. всего для 24 элементов [6].

В последнем по времени издания учебном пособии по бионеорганической химии приводится следующая цифра — 25 эссенциальных элементов (за счёт включения ещё одного элемента — бора) [3]. R. R. Crichton отмечает, что для биологических систем требуются, главным образом, если не исключительно, следующие элементы: H, Na, K, Mg, Ca, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Se, B, C, N, O, F, Si, P, S, Cl, I, Mo. Бор — эссенциальный микроэлемент для растений, но, по мнению автора, в будущем, возможно, будет доказана его необходимость и для млекопитающих [3].

А. В. Жолнин приводит ещё большее число элементов, для которых, по его мнению, установлена биогенность — 30 [6]. Он подробно аргументирует отнесение к жизненно необходимым элементам титана.

Ю. В. Чистяков также полагает, что в настоящее время к биогенным элементам помимо шести элементов-органогенов и десяти «металлов жизни» (K, Na, Ca, Mg, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Mo) однозначно следует отнести неметаллы F, Cl, Br, I, Si, Se, As (а для растений и В) и металлы Li, Sr, Ba, Sn, Ti, V, Cr (для растений также Al). Таким образом, общее число элементов с установленной на данный момент биогенностью для живых организмов составляет 30, а для растений — 32. Но уже сейчас можно встретить мнение, что биогенных элементов около сорока [13].

Однако экспериментальное доказательство незаменимости микроэлемента с методической стороны — дело крайне сложное. Элемент может быть отнесён к жизненно необходимым, если он

удовлетворяет следующим требованиям (В. И. Георгиевский с соавт., 1979):

— постоянно присутствует в организме в количествах, сходных у разных индивидуумов;

— ткани по содержанию данного элемента всегда располагаются в определённом порядке;

— синтетический рацион, не содержащий этого элемента, вызывает у животных характерные симптомы недостаточности и определённые биохимические изменения в тканях;

— эти симптомы и изменения могут быть предотвращены или устранены путём добавления данного элемента в пищу.

Всем перечисленным требованиям удовлетворяют только 15 элементов! Даже фтор не попадает в эту группу, поскольку до настоящего времени не удалось воспроизвести симптомы его недостаточного содержания в экспериментальных условиях.

На основании вышеприведённых требований В. И. Георгиевский с соавторами предложили вариант биологической классификации минеральных элементов на три группы. К первой группе *жизненно необходимых элементов* они отнесли 15 микроэлементов, для которых незаменимость доказана экспериментально. Вместе с четырьмя органогенами получается 19 незаменимых элементов. Вторая группа — *вероятно (условно) необходимые (условно эссенциальные) элементы*. К ним отнесены 10 микроэлементов: фтор, кремний, титан, ванадий, хром, никель, мышьяк, бром, стронций, кадмий. К третьей группе отнесены элементы с малоизученной ролью. Есть авторы, которые предпочитают ограничивать число элементов, относимых к жизненно необходимым. Так, доцент РГМУ Н. В. Адрианов пишет, что их всего около двадцати. Некоторые из них имеют универсальное значение (H, C, N, O, Na, K, Mg, Ca, P, S, Cl); другие требуются хотя и не всем, но многим видам (Mn, Fe, Cu, Zn). Вопрос об универсальности остальных элементов, встречающихся в живых организмах (B, V, Si, Co, Mo), по его мнению, пока не решён [14].

Термин *универсальные биогенные элементы* вошёл также в Биологический энциклопедический словарь [4].

Ю. В. Чистяков в своём учебном пособии приводит уже девять критериев того, что элемент жизненно необходим [7]. В соответствии с ними предложена оценка общей биологической активности элементов по 9-балльной шкале. Девять баллов набирают 18 элементов, 8 — селен, ванадий, хром и никель, 7 — кремний, 6 — фтор, 5 — стронций, 4 — литий и т. д. Один балл получили такие элементы, как титан, серебро, золото, ртуть, свинец и др.

Иногда термин *биогенные элементы* употребляется в виде выражения *биологически значимые элементы* (в противоположность *биологически инертным элементам*) [15].

В заключение рассмотрим смысл часто употребляемого термина *токсичные элементы* (*токсичные соединения*). На самом деле ни одно соединение нельзя назвать абсолютно токсичным или абсолютно нетоксичным. Ещё Парацельс писал: «Всё яд, дело — в дозе». Сложность состоит в том, что сами биогенные микроэлементы при определённой дозе и определённых условиях могут вызвать

токсические реакции, а отдельные элементы, традиционно считающиеся токсичными, при определённой минимальной дозировке могут обнаружить полезные и даже жизненно важные для организма свойства. Их можно классифицировать как *условно необходимые* (например, мышьяк). Для примесных элементов, не являющихся жизненно необходимыми, отсутствует левая ветвь графика зависимости реакции организма от содержания элемента в пище. Это свидетельствует о том, что в области низких доз организм ведёт себя индифферентно по отношению к воздействию данного элемента, не реагируя на его отсутствие или дефицит, однако при превышении определённой дозы он становится токсичным.

Ю. В. Чистяков указывает, что по мере развития методов исследования может выясниться, что некоторые элементы, считающиеся в настоящее время биологически неактивными, или даже токсичными, являются жизненно необходимыми. Особенно велика вероятность этого при значительном изменении среды обитания и условий для жизни на Земле в целом и при соответствующей адаптации организмов к этим изменениям [7].

#### Список использованной литературы

1. Николаев, Л. А. Химия жизни. Пособие для учителей / Л. А. Николаев. — М. : Просвещение, 1977.
2. Меринова, Л. А. Из опыта изучения биогенных элементов / Л. А. Меринова // Химия в школе. — 2008. — № 4. — С. 25—27.
3. Crichton, R. R. Biological inorganic chemistry. An introduction / R. R. Crichton. — Elsevier B.V., 2008.
4. <http://dic.academic.ru>.
5. Ершов, Ю. А. Общая химия. Биофизическая химия. Химия биогенных элементов : учеб. для вузов / Ю. А. Ершов, В. А. Попков, А. С. Берлянд [и др.]; под ред. Ю. А. Ершова. — М. : Высшая школа, 2002.
6. Н:/Материалы по БНХ / Химия биогенных Эл-тов. htm.
7. Чистяков, Ю. В. Основы бионеорганической химии / Ю. В. Чистяков. — М. : Химия, 2007.
8. F:/Материалы по БНХ/Элементы в клетке. htm.
9. Подтероб, А. П. Химический элементный состав человека и периодическая система элементов Д. И. Менделеева / А. П. Подтероб // Хімія: проблеми викладання. — 2005. — № 4. — С. 6—25.
10. Подтероб, А. П. Закономерности распространения химических элементов в окружающей среде / А. П. Подтероб // Хімія: проблеми викладання. — 2004. — № 1. — С. 46—57.
11. <http://www.glossary.ru>.
12. [http://gazpromschool.by.ru/projects/mineral\\_vesh/html/klassifikaciya.htm](http://gazpromschool.by.ru/projects/mineral_vesh/html/klassifikaciya.htm).
13. F:/Материалы по БНХ/Элементы в клетке.htm.
14. F:/Материалы по БНХ/Жизнь и периодическая система.html.
15. <http://ru.wikipedia.org/wiki>.