

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЯ «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН» В ШКОЛЬНОМ КУРСЕ БИОЛОГИИ

Похлебаев С.М.

Челябинский государственный педагогический университет, Челябинск, e-mail: istina48@mail.ru

В статье представлен критический анализ содержания понятия «энергетический обмен», которое используется в некоторых школьных учебниках по общей биологии. Определение, которое приводится в этих учебниках, существенно отличается от определения, которое дают ведущие биоэнергетики. Одной из существенных ошибок при формировании данного понятия является и то, что понятие «энергетический обмен» некоторые авторы считают синонимом понятия «катаболизм». Одна из причин этого кроется, по-видимому, в том, что даже в фундаментальных справочных словарях в расшифровке содержания понятия «катаболизм» допускаются существенные огрехи. Так, например, в «Биологическом энциклопедическом словаре» (1986) в определении катаболизма роль этого процесса сводится только к освобождению энергии и запасанию ее в форме АТФ, но при этом упускаются многочисленные промежуточные метаболиты, которые используются как строительные блоки для всех соединений клетки. Данная ошибка переносится в школьные учебники и, возможно, служит, основанием для того, чтобы понятия «энергетический обмен» и «катаболизм» считать синонимами. Это негативно сказывается на формировании у школьников ключевого понятия об обмене веществ и биологического мышления в целом.

Ключевые слова: материя, естествознание, биология, вещество, энергия, методология обмен веществ, метаболизм, ассимиляция, диссимиляция, анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание, теоретическое мышление.

SOME ASPECTS OF THE FORMATION OF THE CONCEPT OF «ENERGY EXCHANGE» IN THE SCHOOL COURSE OF BIOLOGY

Pokhlebaev S.M.

Chelyabinsk state pedagogical University, Chelyabinsk, e-mail: istina48@mail.ru

The article presents a critical analysis of the concept of "energy exchange", which is used in some textbooks on general biology. The definition that is contained in these textbooks is significantly different from the definition which gives leading bioenergy. One of the significant errors in the formation of this notion is and what the notion of "energy exchange", some authors consider to be synonymous with the concept of "catabolism". One reason for this is on-apparently, that even the fundamental reference dictionaries in deciphering the meaning of "significant flaws are allowed" catabolism. So, for example in "Biological dictionary" encyclopedic (1986) in the definition of the role of this process is catabolism confined to energy and storing it in the form of ATP, but missed numerous intermediate metabolites, which are used as building blocks for all the connections the cells. This error is tolerated in school textbooks and, perhaps, to the concept of "energy exchange" and "catabolism" considered synonymous. This has a negative impact on the development of key concepts of schoolchildren metabolism and biological thinking in General.

Keywords: matter, life science, biology, matter, energy, methodology, metabolism, meta-bolism, assimilation, dissimilation, anabolism, catabolism, photosynthesis, respiration, theoretical thinking-tion.

В основе биологической формы движения материи лежат четыре уникальных явления, которые тесно сопряжены. Таковыми являются: превращение вещества, превращение энергии, превращение информации и превращение формы. Преобразование вещества, энергии и информации в процессе развития материи как единого целого шло параллельно и во взаимосвязи, в результате – возникали новые формы, которые, как правило, имели более высокий уровень организации в сравнении с предшествующими. Однако на каждом из этапов ее развития «приоритет», по-видимому, имели те или иные ее характеристики. На уровне физической и химической форм движения материи, которые являются фундаментом для возникновения биологической формы движения, преобладали *вещественно-энергетические*

изменения, *на биологическом уровне – информационные*. При этом предшествующие формы движения не просто вошли в состав последующей, но и были существенно преобразованы. Этому аспекту особое внимание уделяет Н.П. Дубинин, подчеркивая, что «само возникновение жизни связано с актом появления в целостной системе взаимодействия *специфических веществ, энергии и информации*» [2, с. 535].

Вещество как один из видов материи в процессе своей эволюции претерпело изменение *от простого, состоящего из атомов одного химического элемента, до уровня биополимеров*, которые являются скелетом элементарной единицы живого – клетки. Стратегия эволюции *энергии заключалась в преобразовании все возрастающей возможности ее запасаения, стабилизации и трансформации в большее разнообразие форм* (качество энергии зависит и от ее способности трансформироваться во множество других форм энергии). Такими свойствами обладает универсальная энергетическая валюта всего живого – АТФ. Энергия, заключенная в макроэргических связях данной молекулы, обладает способностью трансформироваться во все формы энергии, необходимые для жизнедеятельности любой живой системы. Сущность информационных преобразований в процессе развития материи заключалась в возникновении нового качества – способности молекулярных структур фиксировать предшествующую информацию, преобразовывать ее и передавать последующим поколениям.

Среди обозначенных выше четырех превращений особое значение в настоящий период развития цивилизации уделяется превращению энергии. Это обусловлено, как минимум, двумя аспектами – теоретическим и практическим. Теоретический аспект этого вида превращения обусловлен тем, что энергия как общая количественная мера всех форм движения материи связывает воедино все явления природы. Из этого следует, что от уровня понимания сущности понятия энергии будет зависеть и возможность построения современной научной картины мира, которая будет определять стратегии концепций всех естественных наук.

Практический аспект предопределен огромной значимостью различных форм энергии для развития материальной и духовной культуры современной цивилизации. Именно энергетическая составляющая является основным фактором конкуренции между государствами на мировой арене. В настоящее время перспективы энергетики связываются не столько с более широким использованием не возобновляемых форм энергии (нефть, природный газ, уголь), сколько с расширением использования энергии ветра и особенно солнечной энергии. Новые энергетические концепции детерминируют не только соответствующее инновации в науке, технике и технологиях, но и в образовании, которое во многом является проекцией науки и должно соответствовать ее уровню развития в данный период времени.

В образовательной области понятие «энергия» являются фундаментальным для всего естествознания в силу того, что от уровня его сформированности будет зависеть и уровень

понимания сущности организации, функционирования и эволюции материи в целом. Целенаправленно основы данного понятия закладываются в курсе физики, где оно служит фундаментом для раскрытия *сущности закона сохранения и превращения энергии*, лежащего в основе мироздания. Учитывая это, учителя выделяют достаточно много времени для формирования данного понятия. Однако, по мнению академика РАО А.В. Усовой, «в процессе его формирования допускается ряд ошибок методического характера, а иногда и в трактовке содержания понятия, следствием чего является наличие серьезных недостатков в усвоении этого понятия учащимися. Одна из причин пробелов в усвоении этого важного понятия учащимися заключается в том, что сами учителя не всегда достаточно четко представляют себе его содержание...» [10, с. 267].

Особую роль понятие «энергия», наряду с понятием «вещество», играет в курсе биологии, где они выполняют методологическую функцию при формировании такого фундаментального понятия для всего курса биологии, как «обмен веществ». Теоретический уровень формирования данного понятия требует понимания живого не только на молекулярном, но и субмолекулярном уровне. Именно это имели в виду Н.М. Верзилин и В.М. Корсунская, когда писали: «важнейшее понятие об обмене веществ, связанном с жизненными функциями и условиями жизни, требует особого внимания ... Научному формированию и планомерному развитию понятия об обмене веществ мешает отсутствие должного внимания обмену внутриклеточному, внутритканевому и превращениям энергии» [2, с. 93].

На молекулярном уровне понятие «обмен веществ» рассматривается в школьном курсе общей биологии при изучении строения и функции клеток. Являясь фундаментальным для всего курса биологии, оно само формируется на основе ключевых естественнонаучных и биологических понятий. К ним, прежде всего, следует отнести такие как: вещество, энергия, ассимиляция, диссимиляция, анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание, биологическое окисление и др. Вполне естественно, что от понимания сущности этих понятий, их логической взаимосвязи будут зависеть глубина и научность сформированности итогового понятия – обмена веществ.

Анализ учебников по общей биологии отечественных и некоторых зарубежных авторов дает основание отметить ряд недостатков, которые не позволяют на должном уровне сформировать у школьников понятие об обмене веществ и, более того, вносят в их головы путаницу. Одним из таких недостатков является неверная интерпретация понятия «энергетический обмен». Следует отметить, что в справочной литературе такое понятие как самостоятельное вообще не выделяется [1; 6; 8]. Не выделено оно и в предметных указателях солидных изданий отечественных и зарубежных авторов [Б. Албертс и др., «Молекулярная

биология клетки», 2013; Д. Тейлор и др., «Биология», 2013; В.Л. Кретович, «Биохимия растений», 1980].

Понятие «энергетический обмен» является достаточно емким и широким, на это указывает один из ведущих современных биоэнергетиков – В.П. Скулачев: «... в одной и той же клетке существует, во-первых, несколько реакций освобождения энергии, во-вторых, множество процессов, идущих с поглощением энергии. Посредством этих двух систем, совокупность которых называется энергетическим обменом, служит особое вещество – аденозинтрифосфорная кислота (АТФ)» [7, с. 10]. Из данного определения вытекает, что понятие «энергетический обмен» имеет достаточно большой объем и включает в себя все энергетические преобразования, имеющие место в двух главнейших и взаимосвязанных процессах обмена веществ (метаболизма) – анаболизма и катаболизма. По-видимому, большой объем данного понятия и его сложность в интерпретации является причиной того, что в научной литературе и вузовских учебниках оно почти не применяется.

Для характеристики энергетических преобразований, происходящих в растительной и животной клетках, авторы используют более частные понятия и словосочетания: энергетическое сопряжение, дыхание и баланс энергии в клетке, образование аденозинтрифосфата в растворимых системах, перенос электронов и окислительное фосфорилирование, энергетический выход гликолиза и цикла Кребса [Б. Албертс и др., «Молекулярная биология клетки», 2013; В.Л. Кретович «Биохимия растений» 1980; П. Кэмп и др., «Введение в биологию», 1988; В.В. Полевой, «Физиология растений», 1989]. Не используют данное понятие и авторы школьных учебников с углубленным изучением биологии [Д. Тейлор и др., 2013; А.О. Рувинский и др., 1993].

Широко используют понятие «энергетический обмен» в школьных учебниках по общей биологии такие авторы, как: А.А. Каменский и др., 2006; С.Г. Мамонтов и др., 2008; В.И. Сивоглазов и др., 2009; В.Б. Захаров и др., 2003. Из них наиболее используемым учебником в школах является «Общая биология» под редакцией В.Б. Захарова, поэтому проанализируем логику использования данного понятия на примере этого учебника [5].

Понятие «энергетический обмен» вводится в главе 4 «Метаболизм – основа существования живых организмов». Подраздел этой главы называется «Энергетический обмен – катаболизм». К содержанию данной главы можно высказать ряд замечаний. Методологической основой для этого является содержание самого понятия обмена веществ, приведенное, прежде всего, в Советском энциклопедическом словаре: «Обмен веществ (метаболизм), совокупность всех химических изменений и всех видов превращений *веществ и энергии* в организмах, обеспечивающих развитие, жизнедеятельность и самовоспроизведение организмов, их связь с окружающей средой и адаптацию к изменениям внешних условий.

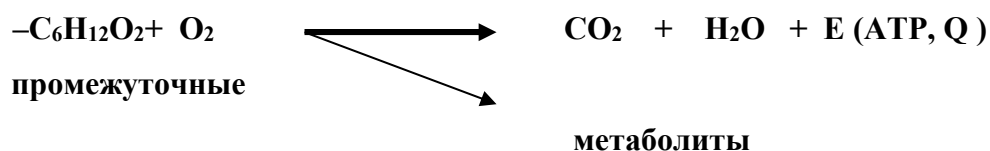
Основу обмена веществ составляют взаимосвязанные процессы анаболизма и катаболизма, направленные на *непрерывное обновление живого материала и обеспечение его необходимой энергией*» [8, с. 905]. *Курсив наш.* Из данного определения вытекает, во-первых, что в основе обмена веществ лежат явления, связанные с превращением *вещества и энергии*, во-вторых, основу его составляют взаимосвязанные процессы анаболизма и катаболизма, которые в совокупности обеспечивают любой организм *строительным материалом и энергией*. Следуя законам формальной логики, не трудно доказать, что оба явления (*превращение вещества и энергии*), свойственные обмену веществ, присущи одновременно и его составным частям – *анаболизму и катаболизму*.

Изначальной методологической ошибкой авторов анализируемого учебника является выбор не совсем удачного определения метаболизма (или его интерпретации авторами), в котором суть ассимиляции сведена *только* к превращениям вещества, а диссимиляции – к превращениям энергии [5, с.118]. Попутно следует отметить, что для общей характеристики метаболизма следовало использовать не понятия *ассимиляции и диссимиляции*, а более точные – *анаболизма и катаболизма*. В последующем авторы эти понятия полностью отождествляют (*дополнительная ошибка*) и добавляют еще один синоним – *энергетический обмен*, что является существенной ошибкой. Доказательством этому является фраза, приведенная в учебнике на стр. 123: «Поэтому диссимиляцию называют еще энергетическим обменом или катаболизмом...» При характеристике обмена веществ (метаболизма) на уровне клетки, авторам следовало использовать понятие «катаболизм», а на уровне организма – понятие «диссимиляция». Эти понятия очень четко разделяет Н.Ф. Реймерс [6, с. 106, 149].

Существенной ошибкой авторов данного учебника является сведение катаболизма только к энергетическому обмену. Подобную ошибку можно объяснить неточностями, а порой и некорректностью, имеющими место в справочной литературе. Так, например, в «Биологическом энциклопедическом словаре» при интерпретации понятия «катаболизм» его значимость сводят только к запасанию энергии в форме АТФ [1, с. 250]. В то же время при расшифровке понятия «обмен веществ» (в том же справочнике) роль катаболизма сводят и к синтезу АТФ и образованию промежуточных метаболитов, которые используются на синтез сложных соединений. Внося ошибку в понимание процесса катаболизма, авторы учебника переносят ее на его отдельные этапы. По-существу, под названием энергетического обмена авторы рассматривают процесс дыхания в целом и его две стадии: анаэробную стадию – гликолиз и аэробную – стадию кислородного расщепления. Перед их рассмотрением приводится общее уравнение дыхания, которое зачастую (без соответствующего толкования) сбивает с толка не только учащихся, но и учителей [5, с. 124]:



На это особо указывает известный биохимик В.Л. Кретович: «Приведенное уравнение аэробного дыхания характеризует лишь баланс веществ при дыхании. Оно не дает никакого представления о тех многочисленных промежуточных ферментативных реакциях, которые разыгрываются в процессе дыхания» [4, с. 201]. Из данного общепринятого уравнения следует, что дыхание является только источником энергии, и это подталкивает некоторых авторов учебников свести роль дыхания (и катаболизма в целом) только к энергетическому обмену, что является существенной ошибкой. Именно о недопустимости такого одностороннего толкования дыхания предостерегает выше упомянутый ученый: «Процесс дыхания, как и процесс брожения, не только источник энергии, используемый для осуществления разнообразных синтетических реакций, а также процессов роста, транспорта веществ и движения, но и источник промежуточных метаболитов, которые образуются в качестве *промежуточных продуктов* дыхания и вместе с тем служат исходным материалом для осуществления синтетических реакций» [там же, с. 201]. Курсив наш. Во избежание подобной ошибки, наряду с общим уравнением дыхания, следует приводить его схему, опустив при этом коэффициенты:



В данной схеме одновременно показано (хотя и в общем виде) и преобразование вещества и преобразование энергии. Суть энергетических преобразований состоит в том, что устойчивая энергия химических связей органических веществ частично трансформируется в лабильную энергию макроэргических связей АТФ, а частично преобразуется в тепловую энергию. Что касается преобразования вещества, то в процессе дыхания (которое является основным звеном катаболизма) происходит расщепление сложных органических веществ до неорганических – углекислого газа и воды и *промежуточных метаболитов, которые являются материальной основой для синтеза всех органических соединений клетки, необходимых для ее построения и функционирования.*

Понимание общей стратегии дыхания как основы катаболизма исключает односторонность в понимании его отдельных стадий. В большинстве учебной литературы, используемой школьниками, роль отдельных стадий дыхания также сводится только к получению АТФ. Это в полной мере относится к школьным учебникам вышеупомянутых авторов. К сожалению, не избежал данной ошибки один из лучших современных учебников по общей биологии под редакцией А.О. Рувинского (1993). Не избежали этой участи и некоторые учебники зарубежных авторов, которые зачастую адресованы одновременно преподавателям, студентам, учителям и учащимся. Это касается весьма солидного учебника «Введение в биологию» (П. Кемп и др., 1988); широко известного трехтомника «Биология» (Д. Тейлор и др.,

2013). В последнем учебнике промежуточные метаболиты процесса дыхания не указаны ни в гликолизе, ни в цикле Кребса, а лишь в глиоксилатном цикле, который, как правило, в школе не изучается. К сожалению, не избежал обсуждаемого недостатка в полной мере и фундаментальный трехтомный учебник Б. Албертса и др. «Молекулярная биология клетки» (2013), предназначенный для преподавателей и студентов. При рассмотрении дыхания в данном учебнике весьма скромно сказано о роли промежуточных метаболитов цикла Кребса, и совсем не отмечается их роль в гликолизе.

Попутно можно отметить, что в большинстве вузовских учебников по физиологии растений подобной проблемы не существует. При изучении физиологических процессов в клетке превращение вещества и энергии изучается параллельно и во взаимосвязи. Роль промежуточных метаболитов как строительных блоков для всех соединений клетки хорошо показана в учебнике Н.И. Якушкиной и др., (2005) и особенно убедительно и наглядно в учебнике В.В. Полевого (1989).

В понимании сущности механизмов превращения вещества и энергии и их взаимосвязи в процессе дыхания важную роль играют общие принципы организации и функционирования материи. Одним из таких принципов, который обосновала И.А. Третьякова, является сопряжение. Методологическая ценность принципа сопряжения данным автором раскрыта при выяснении сущности взаимосвязанных механизмов превращения вещества и энергии в процессе дыхания, которое лежит в основе жизнедеятельности всех биологических объектов, обитающих на нашей планете [9].

Приведенные аргументы и рассуждения позволяют заключить, что в основе таких фундаментальных биологических процессов, как обмен веществ, ассимиляция, диссимиляция, метаболизм, анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание и др., лежат явления превращения *вещества и энергии*, которые тесно сопряжены между собой. Поэтому и формирование понятий «вещество» и «энергия» при изучении этих процессов также должно идти параллельно и во взаимосвязи. Попытка формировать эти понятия по отдельности (например, «энергетический обмен») является существенной методологической ошибкой, цена которой – не понимание большинством учащихся сущности вышеназванных процессов, что, безусловно, негативно сказывается на формировании у них биологического и естественнонаучного мышления в целом.

Список литературы

1. Биологический Энциклопедический словарь /Гл. ред. М.С. Гиляров. – М.: Сов. Энциклопедия, 1986. – 831 с.

2. Верзилин Н.М. Общая методика преподавания биологии: Учебник для студентов биол. фак. пед. ин-тов. / Н.М. Верзилин, В.М. Корсунская. – М.: Просвещение, 1972. – 368 с.
3. Дубинин Н.П. Общая генетика / Н.П. Дубинин. – 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 572 с.
4. Кретович В.Л. Биохимия растений: Учебник для биол. факультетов ун-тов. – М.: Высш. школа, 1980. – 445 с.
5. Общая биология: Учеб. для 10–11 кл. общеобразоват. учеб. заведений /В.Б. Захаров, С.Г. Мамонов, Н.И. Сонин. – 6-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2003. – 624 с.
6. Реймерс Н.Ф. Краткий словарь биологических терминов: Кн. для учителя. / Н.Ф. Реймерс. – 2-е изд. – М.: Просвещение, 1995. – 368 с.
7. Скулачев В.П. Рассказы о биоэнергетике. 2-е изд. / В.П. Скулачев. – М.: Молодая гвардия, 1985 – 191 с.
8. Советский энциклопедический словарь / Гл. ред А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Сов. Энциклопедия, 1985. – 1600 с.
9. Третьякова И.А. Методологическая роль категории «сопряжение» при изучении механизмов дыхания/ И.А. Третьякова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12 (4). – С. 870–875.
10. Усова А.В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения. 2-е изд., испр. / А.В. Усова. – М.: Изд-во Ун-та РАО, 2007. – Труды д. чл. и чл.-кор. Российской академии образования (РАО). – 310 с.