

ДЕМОНСТРАЦИЯ ПРИНЦИПОВ МЕТАПРЕДМЕТНОСТИ НА КОНКРЕТНОМ БИОЛОГИЧЕСКОМ МАТЕРИАЛЕ

Похлебаев С.М.¹, Третьякова И.А.¹

¹Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет, Челябинск, e-mail: istina48@mail.ru

Формирование теоретического мышления и универсальных способов деятельности является ключевой задачей современного школьного и вузовского образования. Одной из основных современных стратегий, которая развивает принципы теорий «Содержательного обобщения» и «Развивающего обучения» В.В. Давыдова, является мыследеятельностная педагогика, активно разрабатываемая Ю.В. Громько. В качестве таких мыследеятельностных организаций, на основе которых могут быть выстроены учебные предметы нового типа – метапредметы, предлагаются: «Знание», «Знак», «Проблема», «Смысл», «Категория» и др. В настоящей работе представлены результаты исследования, в котором в качестве мыследеятельности использовался тендем двух метапредметов – «Знак» и «Категория». Первый метапредмет конкретизируют три основных органогена – водород (H), кислород (O) и углерод (C), которые играют фундаментальную роль в организации живого. Этот метапредмет несет в основном онтологическую (содержательную) функцию в понимании организации и функционирования живых систем. Второй метапредмет – «Категория» – конкретизирует понятие «сопряжение», которое ранее нами обосновано как одна из внутренних сторон взаимодействия и возведено в ранг естественнонаучной категории. Данный метапредмет несет гносеологическую (познавательную) функцию. Эффективность методологического потенциала обоих метапредметов конкретизирована на примере раскрытия сущности фотосинтеза и дыхания, а также их взаимосвязи на электронном уровне.

Ключевые слова: органогены, электрон, электронная теория, метапредметная основа, фотосинтез, дыхание, сопряжение, моделирование.

DEMONSTRATION OF THE PRINCIPLES OF METAPRAGMATIC ON A SPECIFIC BIOLOGICAL MATERIAL

Pokhlebayev S.M.¹, Tretyakova I.A.¹

¹South Ural State Humanitarian-Pedagogical University, Chelyabinsk, e-mail: istina48@mail.ru

The formation of theoretical thinking and universal ways of activity is the key task of modern school and University education. One of the main modern strategies, which develops the principles of theories of «Meaningful generalizations» and «Developmental education» V.V. Davydov is mysledeyatelnostnaya pedagogy, actively developed by Y.V. Gromyko. As such mental activity organizations on the basis of which can be built educational subjects of a new type-metasubjects are offered such as: «Knowledge», «Sign», «Problem», «Meaning», «Category», etc. This paper presents the results of a study in which the quality of mental activity was used tendem two metasubjects – «Sign» and «Category». The first metasubject concretize three main organogens-hydrogen (H), oxygen (O), and carbon (C), which play a fundamental role in the organization of life. This metapragmas carries, basically, ontolo-logical (meaningful) function in the understanding of the organization and functioning of living systems. The second metaprogram – «Category» konkretisiert the concept of «pairing», which informed us substantiation but as one of the internal aspects of interaction and elevated to the rank of natural-science category. This meta-subject has an epistemological (cognitive) function. The efficiency of methodological potential of both metasubjects is concretized on the example of revealing the essence of photosynthesis and respiration, as well as their relationship at the electronic level.

Keywords: organogeny, the electron, the electron theory, a meta-based, photosynthesis, respiration, coupling, modeling.

Усвоение обучающимися универсальных принципов метапредметного подхода и метапредметных технологий в естественнонаучном образовании возможно лишь в том случае, если их эффективность будет продемонстрирована на всех уровнях организации материи. Особую значимость в настоящее время данный подход приобретает при изучении биологических объектов и явлений, сущность которых раскрыта наукой на субмолекулярном

уровне.

Целью настоящего исследования явилась демонстрация тендема двух метапредметов: метапредмета «Знак», который конкретизируют три органогена – водород (H), кислород (O) и углерод (C); и метапредмета «Категория», в качестве которой выступает понятие «сопряжение», ранее возведенное нами в ранг естественнонаучной категории. Методологический потенциал обоих метапредметов выявлен на примере раскрытия сущности метаболизма растительной клетки, в котором ключевую роль играют процессы фотосинтеза и дыхания.

Материал и методы исследования. При решении обозначенной проблемы мы опирались на теоретико-методологические и методические исследования, в которых рассматриваются методы и технологии реализации принципов метапредметности, отраженных в Федеральных государственных образовательных стандартах [1]. Исследования ученых Т.А. Бахор [2], Н.В. Громыко [3], Ю.В. Громыко [4], Ю.В. Королева [5], С.М. Похлебаева [6], Н.С. Пурышевой [7], Ю.В. Скрипкиной [8], И.А. Третьяковой [9], А.В. Хуторского [10], Н.В. Шарыповой [11] и иных, а также долгодетный педагогический опыт работы авторов в вузе позволяют констатировать, что выстраивание метапредмета вокруг какой-нибудь мыследеятельностной организованности, которая будет выступать в качестве метапредметной основы для понимания сущности всех уровней организации живых систем, не имеет места в практической деятельности подавляющего большинства преподавателей биологических дисциплин. Одним из путей решения данной проблемы является демонстрация эффективности принципов и технологий метапредметности на конкретном биологическом материале.

Результаты исследования и их обсуждение. Согласно современным представлениям все проявления жизни сводятся к четырем превращениям: вещества, энергии, информации и формы, которые тесно сопряжены между собой. Механизмы, лежащие в основе этих фундаментальных превращений, определяются во многом свойствами уникальных химических элементов – органогенов. Это особая группа таких атомов, как водород (H), кислород (O), углерод (C), азот (N), фосфор (P) и сера (S). Ключевую роль среди органогенов играют C, H и O. Именно эти органогены в процессе химической эволюции вещества стали материальной основой для возникновения таких важнейших функциональных групп, как гидроксильная, карбонильная, карбоксильная и сложноэфирная, которые в свою очередь обуславливают свойства многих органических молекул, играющих существенную роль в метаболизме растительной клетки.

Особенность и уникальность водорода предопределяется тем, что он имеет всего лишь один легко диссоциируемый электрон, который способен взаимодействовать с

системами разного уровня энергии и участвовать в процессах как освобождения энергии, так и ее накопления. Благодаря этому уникальному свойству водород рассматривают как основное биологическое горючее. Конечным акцептором электронов и протонов у аэробов служит кислород. Такое взаимодействие приводит к образованию молекул воды, которые характеризуются максимальной величиной окислительного потенциала и минимальной энергией. Следует отметить, что в качестве таких акцепторов могут выступать и другие соединения. Уникальность углерода определяется его *особенным* свойством создавать новый тип разнообразных молекул – органических, которые концентрируют в своей структуре большое количество атомов водорода, а, следовательно, и большой запас внутренней энергии [12].

Новый, более глубинный уровень осмысления значимости этих органоенов произошел после создания электронной теории. Вещество согласно постулатам данной теории изображалось как совокупность взаимодействующих положительных и отрицательных частиц, которые движутся в вакууме. Особая роль электронов заключается в том, что их ответ на внешние магнитные и электрические воздействия существенно изменяют физические и химические свойства веществ. Из этого следует, что для понимания сущности макроскопических свойств вещества необходимо выявить воздействие электронов на возникновение этих свойств. Физические явления, которые изучаются электронной теорией, имеют фундаментальное значение для прогрессивного развития современной цивилизации. Эта теория послужила теоретико-методологическим фундаментом для качественных инновационных преобразований во всех естественных науках и их стратегией для дальнейшего развития. Биологическая наука также начала активно использовать принципы данной теории для более глубокого понимания превращений вещества и энергии в биологических системах на электронном уровне.

Осмысление всеобщности принципов электронной теории учеными естественных наук явилось основой для возникновения такой интегративной фундаментальной науки, как *квантовая биохимия*. Ее теоретические положения позволяют рассчитать плотность электронов (величины их энергетических уровней) у отдельных атомов в структуре молекул. Это в свою очередь дает возможность прогнозировать, какие молекулы будут являться донорами электронов (восстановителями), а какие – выступать в роли их акцепторов (окислителей). Понимание сущности физиолого-биохимических процессов на электронном уровне позволяет управлять ими и клеточным метаболизмом в целом, как при нормальном его функционировании, так и при возникновении в нем патологических процессов.

Рассматривая уникальную значимость квантовой биохимии при раскрытии сущности фотосинтеза и дыхания, которые лежат в основе клеточного метаболизма, Б.А. Рубин и

В.Ф. Гавриленко констатируют: «... физической основой процессов фотосинтеза и дыхания является перестройка электронной структуры участвующих в реакции компонентов. Электроны, образующие химическую связь между атомами углерода и водорода, в молекуле углеводов занимают иную орбиталь, чем электроны, образующие связи в молекулах воды и углекислоты. Электроны, связанные с атомом кислорода в молекуле воды, обладают наименьшей энергией. При образовании связей в молекуле углеводов электроны занимают более высокий энергетический уровень, в результате чего энергетический потенциал их значительно увеличивается» [12, с. 12].

Выявление сущности физиолого-биохимических процессов на электронном уровне сыграло ключевую роль в понимании механизмов преобразования разных форм энергии в интактных клетках. На основе принципов электронной теории были расшифрованы механизмы фотосинтетического и окислительного фосфорилирования, в которых энергия электронов преобразуется в лабильную энергию макроэргических связей АТФ. Последняя форма энергии является универсальной для всех организмов на нашей планете – от микроорганизмов до человека.

Ключевую роль в понимании механизма этих энергетических преобразований на электронном уровне сыграли исследования английского биохимика П. Митчелла, который установил, что электронтранспортные цепи (ЭТЦ), локализованные во внутренних мембранах митохондрий и мембранах хлоропластов (тилакоидов), содержат два типа компонентов: одни из них переносят только электроны (цитохромы и др.), в то время как другие компоненты (пластохиноны, убохиноны) одновременно переносят и электроны, и протоны [13]. Такая чередующаяся сопряженная система переносчиков обеспечивает преобразование энергии электронов в промежуточную (более устойчивую) форму энергии – $\Delta\mu\text{H}^+$. В последующих энергетических преобразованиях электрохимический градиент протонов используется для синтеза АТФ из АДФ и P_i , который катализируется сложным ферментным комплексом – АТФ-азой. Постулат «энергетическое сопряжение», обозначенный выше, впервые выдвинул П. Митчеллом и положен им в основу хемиосмотической теории, за которую он награжден Нобелевской премией.

Таким образом, понимание уникальной структуры и свойств обозначенных выше органоенов и принципов электронной теории вещества позволяет глубже понять сущность физико-химических процессов, которые лежат в основе фотосинтеза и дыхания. При изучении этих уникальных физиологических процессов растительной клетки необходимо выявить энергетические состояния электронов (их энергетические уровни). Это послужит основой для понимания того, в каких случаях электроны движутся против термодинамического градиента (с затратой энергии), а в каких их передвижение происходит по термодинамическому

градиенту, и в этом случае энергия электронов может быть трансформирована в иные формы энергии или использована для работы.

Для конкретизации методологической значимости метапредметов «Знак» и «Категория» при выявлении обучающимися сущности фотосинтеза и дыхания на электронном уровне нами сконструирована упрощенная модель, которая в определенной степени отражает энергетическое состояние электронов в основных компонентах этих уникальных процессов и их взаимосвязь (рисунок).

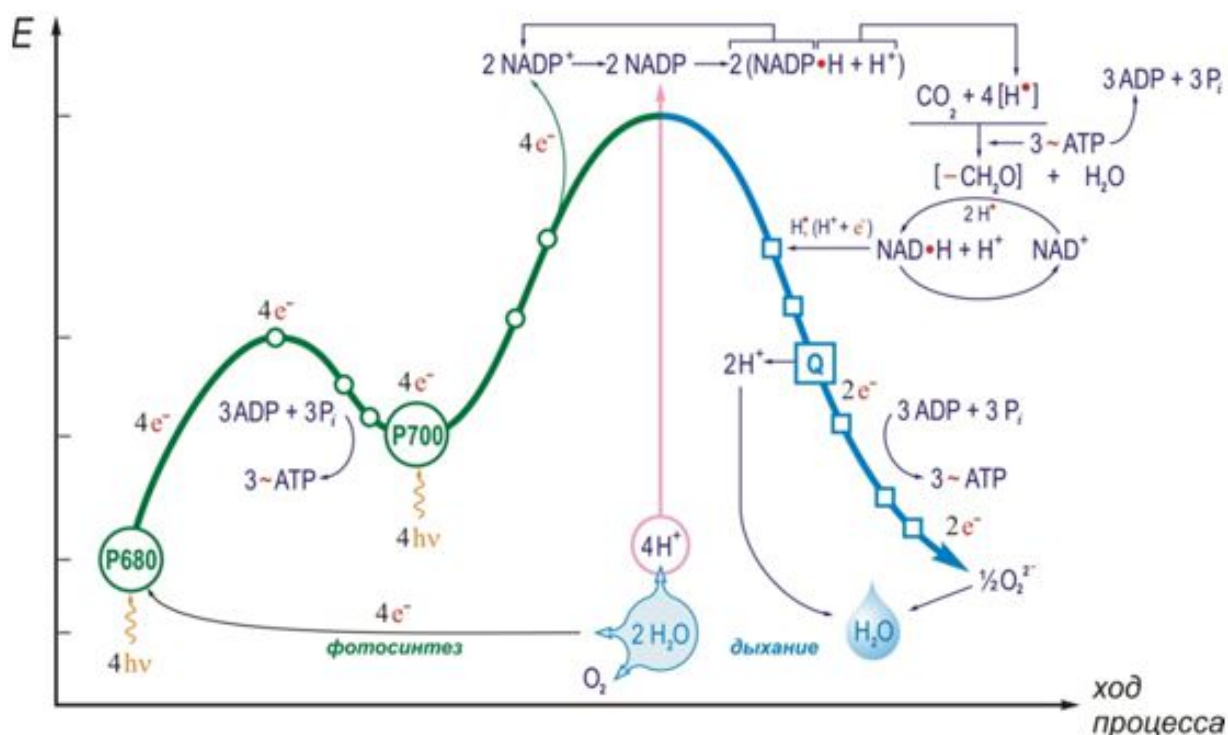


Рис. Энергетическое состояние электрона в метаболитах фотосинтеза и дыхания

● – компоненты ЭТЦ хлоропластов, ■ – компоненты ЭТЦ митохондрий

Эта модель позволяет студентам и даже учащимся визуально проследить последовательное передвижение электронов по компонентам ЭТЦ, встроенным в мембраны хлоропластов и митохондрий. Кроме того, они имеют возможность оценить энергетический потенциал электронов ключевых атомов этих компонентов. Многолетний педагогический опыт авторов дает основание утверждать, что после усвоения сущности данной модели обучающиеся способны понимать механизмы фотосинтеза и дыхания и их взаимосвязь на электронном уровне. При этом они устанавливают и диалектическую связь между физической, химической и биологической формами движения материи также на электронном уровне.

Предложенную модель, по-видимому, следует кратко интерпретировать. В левой

части схемы отражены энергетические состояния электронов в основных компонентах, участвующих в световой и темновой фазах фотосинтеза. В качестве конечного *донора* электронов служат молекулы воды. Однако электроны в молекуле воды занимают низкий энергетический уровень, поэтому их самопроизвольное передвижение по ЭТЦ к конечному акцептору – NADP^+ невозможно. В процессе эволюции выработался механизм (арохимоз), который позволяет преодолеть данный энергетический барьер. Движение электронов по ЭТЦ хлоропластов начинается после того, как длинноволновая форма хлорофилла P_{680} поглотит квант света и поменяет свой окислительно-восстановительный потенциал с положительного на отрицательный. В результате этого акта легковозбудимые электроны π -связей перейдут на более высокий энергетический уровень. На этом уровне электроны имеют существенный энергетический потенциал, и их дальнейшее движение по компонентам ЭТЦ хлоропластов к длинноволновой форме хлорофилла P_{700} происходит самопроизвольно, то есть по термодинамическому градиенту. При движении электронов на данном участке ЭТЦ они теряют часть энергии, и она используется на фотохимическую работу – процесс *сопряженного* фотофосфорилирования: синтез АТФ из АДФ и P_i . Окисленная форма хлорофилла P_{680} восполняет свои электроны за счет электронов молекулы воды, которая фотоокисляется (с образованием молекулярного кислорода и протонов).

Длинноволновая форма зеленого пигмента – P_{700} также поглощает кванты света, и ее электроны преодолевают второй энергетический барьер и присоединяются к NADP^+ . Одновременно к данной молекуле присоединяется и протон воды, возникший в результате ее фотоокисления. В результате такого взаимодействия образуется второй важнейший энергетический эквивалент – NADPH . Эта молекула содержит потенциальной энергии в три раза больше, чем молекула АТФ. Доказательством этого является тот факт, что при окислении одной молекулы NADPH в ЭТЦ митохондрий освобождается количество энергии, достаточное для синтеза трех молекул АТФ. Энергетические эквиваленты световой фазы фотосинтеза – АТФ и NADPH – расходуются в темновой фазе этого процесса. Электроны АТФ используются для активации молекул путем фосфорилирования, а электроны (водороды) NADPH восстанавливают углерод CO_2 до углерода углеводов. Резюмируя описание левой части модели с позиции электронной теории, можно сделать вывод, что в ходе фотосинтеза происходит перемещение электронов воды, которые находятся на низком энергетическом уровне, на самый высокий энергетический уровень молекулы углеводов.

Химические связи углеводов содержат значительный запас потенциальной энергии. Вместе с тем эти связи устойчивы, и их энергия не может сразу быть использована на физиолого-биохимические процессы растительной клетки. Трансформация устойчивой

энергии химических связей углеводов в лабильную энергию макроэргических связей АТФ происходит во втором уникальном звене углеводного метаболизма – дыхании. Такие преобразования на электронном уровне (и только в общей форме) нашли свое отражение в правой части модели.

Переход электронов на разные энергетические уровни в процессе дыхания происходит в ходе сопряженных окислительно-восстановительных реакций (ОВР), которые имеют место в ЭТЦ, встроенной во внутреннюю мембрану митохондрий. Как уже было отмечено выше, ЭТЦ митохондрий, как и хлоропластов, включает два типа компонентов: одни переносят только электроны (цитохромы и др.), другие компоненты (убихиноны и др.) одновременно переносят электроны и протоны. Подобная *сопряженная* система компонентов ЭТЦ митохондрий также осуществляет трансформацию энергии электронов в промежуточную (более устойчивую) форму энергии $-\Delta\mu\text{H}^+$. В последующих биохимических реакциях эта форма энергии расходуется для синтеза АТФ из АДФ и P_i . Следует отметить, что сам механизм преобразования энергии электронов в энергию $\Delta\mu\text{H}^+$ в модели не представлен по двум причинам: 1) это не входило в задачу настоящей работы; 2) для понимания сущности данного механизма необходима отдельная, более подробная теоретическая модель.

Окисление глюкозы (реакция дегидрирования) осуществляется под действием фермента дегидрогеназы, коферментом которой является NAD. Данный кофермент отщепляет от молекулы глюкозы H (\bar{e} и H^+) и «сбрасывает» их в ЭТЦ (упрощенная схема) митохондрии. Первым компонентам ЭТЦ для окислительно-восстановительных превращений необходимы и электроны, и протоны. Последующим компонентам, локализованным после кофермента Q, нужны только электроны, протоны переносятся в межмембранное пространство митохондрий. Транспорт H (\bar{e} и H^+) по ЭТЦ митохондрий осуществляется по термодинамическому градиенту и сопряжен с поэтапным высвобождением энергии. Данная энергия тратится в процессе *сопряженного* окислительного фосфорилирования АДФ. В результате этого процесса синтезируется АТФ – универсальная энергетическая валюта всех клеток.

Конечным акцептором электронов в ЭТЦ митохондрий служит молекулярный *кислород*. Присоединив два электрона, кислород заряжается отрицательно, после чего взаимодействует с двумя протонами. В результате этих реакций образуется вода. В этой молекуле электроны вновь оказываются на низкой энергетической орбитали, обуславливая ее значительную химическую инертность.

После выявления (фиксации) энергетических состояний электрона в метаболитах фотосинтеза и дыхания с использованием статической модели (рис.) обучающиеся имели

возможность проследить весь путь электронов и протонов – от молекулы воды к молекуле кислорода в динамическом варианте этой же модели. Практика показала, что подобное сопряжение статических и динамических моделей при выявлении сущности биологических процессов является весьма эффективным, так как позволяет достаточно быстро перейти от наглядно-образного мышления к обобщенно-образному, а от него – к понятийному типу мышления.

Заключение. Таким образом, для выявления сущности метаболизма растительной клетки, где ключевую роль играют *сопряженные* процессы фотосинтеза и дыхания, необходимы фундаментальные знания об уникальном строении и свойствах таких атомов-органогенов, как *водород*, *кислород* и *углерод* (метапредмет «Знак»), а также принципов электронной теории. При этом важную методологическую роль играет понятие «сопряжение» (метапредмет «Категория»), которое ранее нами было обосновано как внутренняя сторона взаимодействия и возведено в ранг естественнонаучной *категории* познания объектов и явлений материального мира [6, 9]. Опора на эти метапредметные знания позволяет понять физико-химическую природу фотосинтеза и дыхания, которые являются основой метаболизма растительной клетки на электронном уровне. Следует установить генетическую связь между физической, химической и биологической формами движения материи. Внести существенный вклад в формирование у обучающихся *метапредметного* *стиля мышления и научного мировоззрения*.

Список литературы

1. Метапредметное содержание и результаты образования: как реализовать федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС). URL: <http://www.eidos.ru/> (дата обращения: 12.10.2019).
2. Бахор Т.А., Мазурова Н.А., Зырянова О.Н., Мамаева С.В., Шмульская Л.С., Веккессер М.В., Гончарова Т.М. Метапредметность как условие профессиональной подготовки бакалавров педагогического образования // Современные проблемы науки и образования. 2015. №6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=23299> (дата обращения: 20.09.2019).
3. Громыко Н.В. Мыследеятельностная педагогика и новое содержание образования. Метапредметы как средство формирования рефлексивного мышления у школьников [Электронный ресурс]. URL: <http://1314.ru/node/24> (дата обращения: 08.10.2019).
4. Громыко Ю.В. Метапредмет «Знак»: учебное пособие для учащихся старших классов. М.: Пушкинский институт, 2001. 285 с.

5. Королев М.Ю. Методическая система обучения методу моделирования студентов естественнонаучных и математических направлений подготовки в педвузах: дис. ... докт. пед. наук. М., 2012. 501 с.
6. Похлебаев С.М., Третьякова И.А. Сопряжение и разобщение как диалектическая пара, и ее роль в создании и понимании хемиосмотической теории Митчелла // Наука и школа. 2011. № 4. С. 65–67.
7. Пурьшева Н.С., Ромашкина Н.В., Крысанова О.А. О метапредметности, методологии и других универсалиях // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2012. № 1 (1). С. 11–17.
8. Скрипкина Ю.В. Метапредметный подход в новых образовательных стандартах: вопросы реализации // Интернет-журнал «Эйдос», 2011. № 4. URL: <http://www.eidos.ru/journal/2012/0229-10.htm> (дата обращения: 08.10.2019).
9. Третьякова И.А. Сопряжение как внутренняя сторона взаимодействия и методология познания // Фундаментальные исследования. 2013. № 11 (9). С. 1929–1933.
10. Хуторской А.В. Методика проектирования и организации метапредметной образовательной деятельности учащихся // Муниципальное образование: инновации и эксперимент. 2014. № 2. С. 7–23.
11. Шарыпова Н.В., Коурова С.И., Павлова Н.В. Метапредметность в современном биологическом образовании на разных ступенях образовательного процесса // Современные проблемы науки и образования. 2017. №6. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=27236> (дата обращения: 20.09.2019).
12. Рубин Б.А., Гавриленко В.Ф. Биохимия и физиология фотосинтеза. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. 328 с.
13. Николс Д. Биоэнергетика. Введение в хемиосмотическую теорию: пер. с англ. М.: Мир, 1985. 190 с.