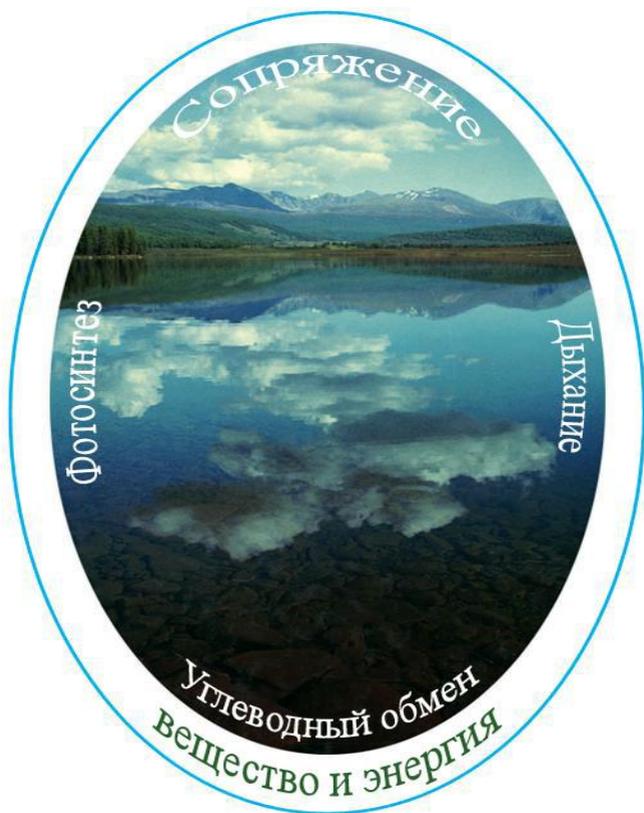


**И.А. ТРЕТЬЯКОВА, С.М. ПОХЛЕБАЕВ**

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ  
СОПРЯЖЕННЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ  
«ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» В КУРСЕ БИОЛОГИИ**



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический  
университет»

**И.А. ТРЕТЬЯКОВА, С.М. ПОХЛЕБАЕВ**

**ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ  
СОПРЯЖЕННЫХ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ  
«ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» В КУРСЕ БИОЛОГИИ**

**МОНОГРАФИЯ**

**Челябинск  
2018**

УДК 57 (07)  
ББК 74.262.8  
Т 66

**Третьякова, И.А. Теория и практика формирования и развития сопряженных физиологических понятий «фотосинтез» и «дыхание» в курсе биологии [Текст] : монография / И.А. Третьякова, С.М. Похлебаев. – Челябинск : Изд-во Юж.-Урал. гос. гуманитар.-пед. ун-та, 2018. – 245 с.**

ISBN 978-5-6042129-2-9

В монографии рассматриваются теоретико-методологические основы формирования и развития физиологических понятий «фотосинтез» и «дыхание», при усвоении которых школьники и студенты испытывают существенные затруднения. В качестве методологической основы формирования данных понятий авторы предлагают категорию сопряжения. Усвоение содержания *категории сопряжения* школьниками и студентами и сознательное ее применение при формировании и развитии понятий «фотосинтез» и «дыхание» позволит обучаемым не только понять сущность данных процессов, но и одновременно усвоить эффективное методологическое средство познания, способствующее формированию научной картины мира и мировоззрения в целом.

Проекция сопряжения в образовательную область позволяет рассматривать его в качестве важнейшего *дидактического принципа реализации* системно-деятельностного подхода к формированию профессиональных компетенций будущих учителей.

Адресуется студентам, учителям биологии, а также специалистам, интересующимся методологическими основами естествознания.

Рецензенты: М.Д. Даммер, д-р пед. наук, профессор  
И.А. Гетманец, д-р биол. наук, профессор

ISBN 978-5-6042129-2-9

© Третьякова И.А., 2018  
© Похлебаев С.М., 2018  
© Издательство Южно-Уральского государственного гуманитарно-педагогического университета, 2018  
© Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2018

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	6
<b>ГЛАВА. 1. СОПРЯЖЕНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ</b> .....	14
1.1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО БИОЛОГИИ .....	14
1.2. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ .....	25
1.3. СОПРЯЖЕНИЕ КАК ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМНО-ДЕЯТЕЛЬНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЖИВЫХ ОБЪЕКТОВ В КУРСЕ БИОЛОГИИ .....	39
1.4. СОПРЯЖЕНИЕ – КАТЕГОРИЯ ПОЗНАНИЯ И ДИДАКТИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН .....	45
1.5. МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ СОПРЯЖЕННЫХ ПОНЯТИЙ «ФОРМА И СОДЕРЖАНИЕ» В КУРСАХ ФИЗИКИ, ХИМИИ И БИОЛОГИИ .....	52
1.6. ВЕЩЕСТВО, ЭНЕРГИЯ И ИНФОРМАЦИЯ КАК ФАКТОРЫ СОПРЯЖЕНИЯ МЕЖДУ ОРГАНИЗМОМ И СРЕДОЙ ЕГО ОБИТАНИЯ .....	63
ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ .....	72
<b>ГЛАВА 2. СОПРЯЖЕНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ «ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» У ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ ВУЗА</b> .....	75

2.1. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ «ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» У ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИИ .....	75
2.1.1. Методологическая роль фундаментальных естественнонаучных понятий «вещество» и «энергия» при изучении фотосинтеза и дыхания в разделе «растения» .....	75
2.1.2. Учебник биологии как средство интеграции общебиологических и естественнонаучных знаний .....	85
2.1.3. Сопряжение как механизм реализации межпредметных связей физики, химии и биологии .....	93
2.1.4. Методологическая роль фундаментальных естественнонаучных понятий и методы их формирования .....	98
2.1.5. Комплексные задания как средство развития понятий «вещество» и «энергия» в курсе биологии .....	105
2.1.6. Особенности формирования сопряженных физиологических понятий «фотосинтез» и «дыхание» в разделе «растения» .....	112
2.1.7. Фотосинтез как содержательная основа межпредметных связей физики, химии, биологии и физической географии .....	137
2.1.8. Роль и место фотосинтеза в курсе общей биологии при формировании понятия «анаболизм» .....	145
2.1.9. Методологическая роль определений фотосинтеза .....	151
2.1.10. Некоторые аспекты формирования понятия «энергетический обмен» в школьном курсе общей биологии .....	156

2.1.11. Мысленный эксперимент как сопряженный метод рациональной познавательной деятельности школьников при изучении фотосинтеза .....	166
<b>2.2. СОПРЯЖЕНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ «ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» У СТУДЕНТОВ ВУЗА .....</b>	<b>177</b>
2.2.1. Функциональный подход – важнейшая методология изучения физических, химических и биологических явлений .....	177
2.2.2. Методологическая роль функционального подхода в понимании сущности темновой фазы фотосинтеза .....	188
2.2.3. Реализация методологического потенциала категории «сопряжение» при изучении механизмов фотосинтеза .....	193
2.2.4. Методологическая роль категории «сопряжение» при изучении механизмов клеточного дыхания .....	200
2.2.5. Сопрягающая функция электронной теории вещества при изучении механизмов взаимодействия фотосинтеза и дыхания в курсе биологии .....	215
<b>ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ .....</b>	<b>226</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>231</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....</b>	<b>234</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что биология как наука имеет два основных направления развития: анатомо-морфологическое и физиологическое. Исторически физиологическое направление в биологической науке зародилось гораздо позже морфологического и, во многом, обязано не морфологам, а физикам и химикам. Анализируя историческое развитие морфологии и физиологии, К.А. Тимирязев писал: «Для того чтобы быть морфологом, нужно быть морфологом и только. Для того чтобы быть физиологом, нужно быть в известной степени и физиком, и химиком, и морфологом» [94, с. 23–24]. Пока морфологи (и в первую очередь ботаники и зоологи) занимались исключительно формами, физики и химики проникли в область растительной и животной жизни и заложили основу физиологического направления. Этот факт является вполне естественным, так как для открытия физиологических процессов и понимания их сущности требуются теоретические знания и экспериментальные методы физики и химии.

Изучать физиологические функции тех или иных живых объектов природы гораздо сложнее, чем их структуру. Понятия, отражающие физиологические процессы, являются во многом абстрактными и требуют *теоретического уровня мышления*. Поэтому не только для школьников (обучающихся в основной школе), но и студентов (вузов) их формирование вызывает значительную трудность. Подтверждением является мнение

корифеев методики биологии Н.М. Верзилина и В.М. Корсунской, которые, анализируя принципы теории развития понятий, отмечают, что: «значительную сложность представляет систематическое развитие понятий и умений физиологического характера» [10, с. 101].

Целенаправленно формирование физиологических понятий начинается в разделе «Растения» школьного курса «Биология». Базовым, для всего курса биологии, является физиологическое понятие «обмен веществ», от степени сформированности которого зависит понимание сущности биологической формы движения материи в целом. На этом делают акцент названные выше методисты: «Важнейшее понятие об обмене веществ, связанном с жизненными функциями и условиями жизни, требует особого внимания. Обычно физиологические процессы, в особенности у растений, изучаются раздельно по органам: дыхание, питание минеральное, питание воздушное, испарение, превращение веществ, рост. Задача же развития понятий заключается в том, чтобы учащиеся понимали, какие процессы происходят в целом растении и связи с какими условиями. В результате учащиеся должны уметь устанавливать связи между процессами и условиями жизни» [10, с. 90]. Научному формированию и планомерному развитию понятия об обмене веществ мешает отсутствие должного внимания *обмену внутриклеточному, внутритканевому (чаще используют понятие межклеточное) и превращениям энергии*. Энергетическая сторона обмена веществ, при изучении разделов «Растения» и «Животные», совсем не отмечается, очень поверхностно она дается и в разделе «Человек и его здоровье». Понятие о превращении энергии включается иногда в формулировку об обмене веществ, но в развитии его не участвует.

Основной причиной непрочного усвоения понятия об обмене веществ в курсе биологии, и особенно при изучении раздела «Растения», является отсутствие опоры на такие фундаментальные естественнонаучные понятия, как «*вещество*» и «*энергия*». Без получения элементарных знаний о превращениях вещества и энергии нельзя понять сущности физиологических процессов, прежде всего, таких как **фотосинтез** и **дыхание**, составляющих основу внутриклеточного обмена (метаболизма) у растений. Это детерминировано тем, что *фотосинтез* составляет *основу анаболизма* не только для растений, но и на *биосферном (планетарном) уровне*. В свою очередь *дыхание* составляет *основу катаболизма* для всех живых существ, обитающих на Земле.

В разделе «Растения» школьного курса биологии фотосинтез и дыхание рассматриваются лишь со стороны их внешних проявлений. Так, например, в основу изучения фотосинтеза положены выделение условий, необходимых для его протекания (свет, углекислый газ, вода, листья с хлорофиллом), и наблюдение результатов этого процесса (образование крахмала и выделение кислорода).

Перестройка курса биологии, по мнению А.В. Усовой, приводит к необходимости перестройки содержания и структуры курсов физики и химии, а также *изменения их места в учебном плане* [110].

В настоящее время необходимо создать, если можно так сказать, *естественнонаучную образовательную систему, которая отражала бы естественный ход развития материи вообще*, в результате которого физическая форма движения материи «породила» химическую форму движения материи, а она, в свою очередь, – биологическую форму движения, в то

время как существующие образовательные системы (концепции), в области биологии, в той или иной мере являются искусственными.

Реализация данной идеи становится особенно актуальной в современный период развития общества, так как решение многих насущных проблем в области естествознания требует *интеграции знаний физики, химии и биологии*. Подобная тенденция в науке неизбежно приведет к необходимости перестройки содержания и структуры всех естественных курсов, изучаемых в школе. По мнению Б.Д. Комиссарова, «настало время переосмыслить цели, содержание и структуру естественнонаучного образования в свете новых концепций социокультурной обусловленности познания, соотношения теоретического и эмпирического, исторического и логического» [33, с. 5]. Пути воплощения новых методологических и методических идей в теорию и практику школьного образования обозначены академиком А.В. Усовой в «Новой концепции естественнонаучного образования» [109] и разработанной в ее рамках С.М. Похлебаевым «Современной концепции биологического образования» [1209, с. 8–15]. Педагогический эксперимент показал, что внедрение идей данных концепций в школьную практику обеспечивает *методологические, содержательные и деятельностные связи между естественнонаучными предметами на теоретическом уровне*. Усвоение школьниками фундаментальных естественнонаучных понятий, законов, теорий в 5–6 классах создает научный фундамент для изучения биологических систем разного уровня организации не только на эмпирическом, но и *теоретическом* уровне. При этом усваивается не только понятийный аппарат курсов физики и химии, но и

*методологические подходы, методы и приемы*, которые позволяют добывать научные знания об объектах и явлениях окружающего мира более рационально.

В качестве ключевых эффективных методологий, которые обеспечат понимание таких физиологических процессов, как фотосинтез и дыхание на теоретическом уровне следует отметить как минимум три: ***принцип сопряжения, функциональный подход*** и ***метод моделирования***, которые связаны между собой. ***Сопряжение*** сыграло и играет важнейшую роль в эволюции материи, в том числе и в возникновении и эволюции биологической формы движения материи. «В процессе химической эволюции при наличии всех необходимых для нее условий происходит усиление роли сопряженности. Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона организации динамических неравновесных систем» [118, с. 165] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Остается только добавить, что к таким динамическим неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой.

При изучении биологических явлений, в основе которых лежат явления физические и химические, это понятие используется особенно часто в силу того, что эффект сопряжения имеет место на каждом уровне организации живой системы, начиная электронным уровнем и заканчивая биосферным. Данные факты послужили основанием необходимости возведения понятия сопряжения, которое используется при выяснении механизмов взаимодействия на разных уровнях организации материи, в ранг *естественнонаучной категории познания*. В процессе обучения школьников и студентов данная категория может выполнять методологическую функцию при формировании и

развитии у них рационального мышления (познания) *на предметном, естественнонаучном и философском уровнях* и способствовать формированию *научного мировоззрения и естественнонаучной картины мира в целом*.

Использование **функционального подхода** в биологии позволило совершить данной науке новый качественный скачок в своем развитии. Это стало возможным благодаря тому, что на основе этого подхода возникло новое направление в биологии – *физиологическое*, которое при изучении биологических систем различного уровня сложности позволило перейти от явлений к сущности: понять принципы функционирования живых систем и на их основе создать *идеализированные модели* их организации, проверяемые практикой.

Применение *функционального подхода* (в сочетании с конкретными экспериментальными методами) позволило расшифровать ряд биохимических циклов *фотосинтеза* и *дыхания*, протекающих в растительной клетке (цикл Кальвина, цикл Кребса и другие), понять работу электронтранспортной цепи, локализованной в мембранах хлоропластов и митохондрий, механизм синтеза АТФ.

При расшифровке механизмов фотосинтеза и дыхания с помощью методологии *функционального подхода* использовался, в определенной степени, и *методологический потенциал понятия «сопряжение»*. Доказательством этого является выделение особой группы реакций клеточного метаболизма, которые были обозначены как *«сопряженные реакции»*. Сопряженными называют – «химические реакции, которые протекают только при наличии хотя бы одного общего реагента, причем одна из реакций возбуждает или ускоряет другую» [88, с. 1239].

Такие реакции играют ключевую роль в механизмах взаимодействия *вещества* и *энергии* как в отдельных физиологических процессах (фотосинтезе, дыхании и др.), так и в интактных клетках в целом.

Таким образом, методологический потенциал функционального подхода при расшифровке механизмов фотосинтеза и дыхания значительно повысился в силу того, что данная методология была применена в сочетании с принципом сопряжения, который отражает эволюцию вещества на планете Земля. Сочетание (сопряжение) двух методологий существенно продвинуло биологическое знание вперед.

В качестве общей методологии познания объектов и явлений природы наука широко использует *метод моделирования*. Особое значение данный метод приобретает при выяснении сущности физиологических процессов, которую невозможно понять только чувственными методами. Общенаучная значимость моделирования заключается, прежде всего, в том, что данный метод *сопрягает* в себе результаты чувственного и рационально познания и может представить их сущность в наглядном виде. Поэтому данный метод познания работает со всеми другими методами, а в настоящем исследовании он применен в комплексе с принципом сопряжения и функциональным подходом.

*Функциональный подход* как *разновидность системного подхода* выполняет важную методологическую роль в естествознании. Изучение механизмов (функций) неживых и живых систем позволяет создать *гипотетические модели* их организации, которые затем проверяются практикой. Функциональный подход служит целям управления сложными системами. Его использование в тандеме с частными методами исследования

позволяет вскрыть новые количественные и качественные закономерности изучаемых процессов и явлений природы и, в конечном итоге, управлять ими в определенной мере и получать от них максимальную пользу.

Наше исследование показало, что осмысление потенциальных методологических возможностей *категории сопряжения, функционального подхода и метода моделирования*, использование их в комплексе при изучении сопряженных физиологических процессов – фотосинтеза и дыхания в школьных и вузовских курсах биологии расширяет границы их применения, а также понимания других научных методологий, которые в иерархической лестнице являются общими (системный подход и материалистическая диалектика), что способствует не только интеграции естественнонаучных знаний, но и методов познания окружающего мира.

Обозначенные выше концепции и методологические подходы к изучению сопряженных физиологических процессов – фотосинтеза и дыхания – апробированы в школах и вузах г. Челябинска и области, а также за ее пределами. Проведенный педагогический эксперимент дал положительный результат, и работа в этом направлении продолжается.

# **ГЛАВА. 1. СОПРЯЖЕНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗВИТИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ**

## **1.1. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ ПО БИОЛОГИИ**

Состояние современного образования в нашей стране, в том числе естественного, можно охарактеризовать как кризисное, и ни у кого не возникает сомнений в необходимости его преобразования. Глубина этого кризиса обусловлена еще и тем, что он совпал по времени с социально-экономическим переустройством общества, которое ставит перед ним принципиально новые цели и задачи. Проблемы, накопившиеся в области естественного образования, требуют незамедлительных действий по его коренной перестройке, так как от их решения зависит не только экономическое развитие общества, но и само его существование.

Реализация современных государственных проектов требует не только новых более глубоких экспериментальных и теоретических исследований в области физики, химии, биологии, географии, но и интеграции знаний этих и других естественных наук. Изменение стратегического курса естественных наук обязывает изменить стратегию и в образовании. Основной

упор в школе и вузе должен делаться на формирование *научно-теоретического мышления*, что позволит заложить основы для подготовки высококвалифицированных специалистов для различных областей народного хозяйства. Современным школьникам и студентам необходимо дать не только *эмпирический* уровень изучения материальных объектов, но и *теоретический*.

Следует отметить, что соответственно уровням научного знания ученые разрабатывают и концепции естественнонаучного образования. Одни предлагают интегрировать знания, особенно в школе, *на эмпирическом уровне*, считая, что у школьников еще недостаточно развито абстрактное мышление. Другие считают, что это не так, и предлагают в школе вести интеграцию естественных предметов *на теоретическом уровне*. Необходимо в том и другом случае дать методологическое обоснование, раскрыть сущность, принципы, критерии отбора содержания интегрированных знаний. Если ориентироваться на структуру, системное содержание и функции современного научного знания, признавать необходимость логического соответствия научных с вузовскими и школьными знаниями (в школе изучают основы научного знания), то можно прийти к единственно верному методологическому выводу, краеугольным камнем интегрирования знаний по смежным предметам может быть только ***принцип теоретичности***. Принцип научный, универсальный, информационно не отягощенный.

Знания по своей сути, как сама природа и жизнь, диалектичны, едины, целостны, системны, ассоциативны, следовательно, интегрированы, и задача состоит лишь в том, чтобы это должным образом отразить в Федеральном государственном образовательном стандарте и учебных программах. Эмпирический же уровень интеграции знаний имеет низкофункциональное

содержание. Поэтому каждого ученика и студента должно учить мыслить системно, ассоциативно, интегрированно, а если угодно – универсально, что надежно обеспечивается интегрированием знаний на теоретическом уровне и, конечно, обработкой соответствующих технологий познания.

Формирование научно-теоретического мышления возможно только при выборе соответствующего *методологического подхода*, который определит стратегию формирования у школьников системы основных естественнонаучных понятий, законов, теорий и выведет их знания на новый качественный (теоретический) уровень.

Кризис школьного образования – это, прежде всего мировоззренческий кризис. Отказ от *методологии диалектического материализма* породил ряд ложных и спекулятивных концепций, которые бездумно насаждаются малокомпетентными руководителями образования в школьную практику.

По мнению В.Е. Клементьева, все точки зрения отечественных педагогов по вопросу о методологических подходах в педагогике можно свести к двум. «Одни, говоря о философском основании методологии современной российской педагогики, полагают, что таким философским основанием является *диалектический материализм*. Другие же вообще не касаются философского уровня методологии в своих работах, не говорят, на какую теорию познания опираются, предпочитая обосновывать формы и принципы, осуществляемого ими научного исследования, из общенаучного уровня методологии. В этом случае самым фундаментальным, задающим нормы научного исследования, как правило, оказывается *системный подход* с теми или иными вариациями в названии» [31] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Однако философское основание системного подхода эти исследователи не указывают.

В действительности, отмечает В.Е. Клементьев, «философской основой российских научно-педагогических исследований составляют два философских учения: *диалектический материализм* и *эмпиризм*. Наличие диалектического материализма не удивительно для наших отечественных ученых, удивительно то, что большинство ученых-исследователей в своей познавательной деятельности лишь *декларируют методологию диалектического материализма* в процессе познания, а на самом деле, стоят на позиции *стихийного эмпиризма* в той или иной форме, который-то как раз критикуется в диалектическом материализме» [там же] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Приоритетность диалектического материализма как методологической основы педагогических исследований заключается, прежде всего, в том, что она исходит из того, что *личность* является *одновременно и объектом и субъектом* общественных отношений. Поэтому ее развитие детерминировано как внешними обстоятельствами, так и природной организацией человека. Ведущую роль в развитии личности эта педагогика усматривает в воспитании. Личность и деятельность находятся в единстве: *личность проявляется и формируется в деятельности.*

Проблема *деятельности* является одной из ключевых проблем психологических знаний. Существенный вклад в ее решение внесли ведущие психологи нашей страны, такие как Л.С. Выготский, С.Л. Рубинштейн, А.Н. Леонтьев, П.Я. Гальперин, Н.Ф. Талызина и другие.

По мнению С.Л. Рубинштейна, для современной психологии особенно актуальна проблема: «...преодоление абстрактного

функционализма и переход к изучению психики, **сознания в конкретной деятельности**, в которой они не только проявляются, но и формируются» [83, с. 8] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

В основе **деятельностного подхода**, широко применяемого в научном познании психологами и педагогами, лежит **философский принцип предметной деятельности**. При разработке *принципа единства сознания* (вообще психики) и *деятельности* или поведения С.Л. Рубинштейн основывается, прежде всего, на положениях **диалектического материализма** о единстве **сознания и действительности или бытия**, о единстве субъекта и объекта. Именно поэтому, «...психика человека, его сознание, образ его мыслей зависят от образа его жизни и **деятельности**, формируясь в процессе их развития» [там же, с. 32] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Ключевые идеи теорий деятельности П.Я. Гальперина и А.Н. Леонтьева в определенной степени объединены Н.Ф. Талызиной, которая, рассматривая процесс учения как деятельность, отмечает, «...что в процессе обучения стоит задача формирования отдельных видов деятельности, прежде всего – **познавательной**, а не абстрактных функций памяти, мышления, внимания и т.д.» [90, с. 41] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Она отмечает, что применение положений теории поэтапного формирования позволяет управлять процессом учения, причем «...не только усвоением отдельных познавательных действий, но и **формированием приемов интеллектуальной деятельности**» [там же, с. 220] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Психологическая теория П.Я. Гальперина служит ведущей методологической основой для разработки **деятельностной дидактики и методики обучения**. Особую актуальность данная

теория приобретает в настоящее время, когда *значительное увеличение объема знаний, повышение теоретического уровня и требований к качеству их усвоения ставит перед обучением новые задачи, которые нельзя решить без учета возможностей умственной деятельности обучающихся.*

Приведенные выше фундаментальные теоретические положения позволяют достаточно научно и объективно проанализировать содержание Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования (утвержден Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 1897).

Федеральный компонент государственного стандарта общего образования разработан с **учетом основных направлений модернизации общего образования.** Среди этих направлений можно выделить два основных. Первое направление обуславливает **«деятельностный характер образования, направленность содержания образования** на формирование общих учебных умений и навыков, обобщенных способов учебной, познавательной, коммуникативной, практической, творческой деятельности, на получение учащимися опыта этой деятельности». Второе – связано с **формированием ключевых компетенций** – готовностью школьников использовать усвоенные знания, умения и способы деятельности в реальной жизни для решения практических задач.

Компетентностный подход по своей сути является интегративной методологией, включающей в себя *ключевые, базовые и специальные компетенции* (подходы). Из этих компетенций – *ключевые* определяются, как **всеобщие способности, установки и стратегии**, которые полезны при решении проблем и овладении новыми компетентностями в возможно большем

числе содержательных областей [36] (курсив наш. – И.Т., С.П.). В стратегии модернизации содержания общего образования М.С. Пак выделяет пять ключевых компетенций в сферах **деятельности** школьника. Первой из них называется **самостоятельно-познавательная компетентность**. В содержании образования данная компетенция предусматривает формирование четырех структурных компонентов:

– *опыт познавательной деятельности*, фиксированный в форме ее результата – знаний;

– *опыт* осуществления известных **способов деятельности** – в форме умений действовать по образцу;

– *опыт творческой деятельности* в форме умений принимать эффективные решения в проблемных ситуациях;

– *опыт* осуществления эмоционально ценностных отношений – в форме личностных ориентаций [59] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Приведенные положения свидетельствуют о том, что оба основных направления, положенные в основу Федерального компонента государственного стандарта общего образования, тесно связаны и определяют общую стратегию этого документа. Основой этой стратегии является *принцип деятельности*.

Не умаляя достоинств деятельностного подхода как важнейшей методологии познания, следует признать, что сам по себе этот подход не обеспечивает необходимый уровень знаний, мышления и сознания обучаемых. Этот лишь метод (*форма*), позволяющий овладеть *содержанием* научного материала и *методами познания* (интеллектуальной деятельности), которые должны быть определены стандартами и другими нормативными документами. Содержание же материала по школьному курсу биологии, определяемое ныне реализуемыми Госстандартами, мало чем отличается от прежних стандартов, а его

реализация при помощи декларируемого деятельностного подхода обеспечит лишь только эмпирический уровень знаний у школьников. Это не будет соответствовать уровню развития современной биологической науки и социальным запросам общества.

В качестве доказательства эмпирического уровня стандарта можно привести его следующие положения:

– Сущность *основного изменения*, внесенного в содержание учебного предмета, естествознание (по сравнению с Обязательным минимумом содержания общего образования, утвержденного приказом Минобробразования России в 1998/99 гг.) состоит в том, что «усилена прикладная, практическая направленность всех учебных предметов данной образовательной области (*Физика, Химия, Биология*). На базовом уровне старшей школы в качестве варианта изучения предложен интегративный курс *Естествознание*».

– В разделе «Общие учебные умения, навыки и способы деятельности» отмечается, что «в результате освоения содержания основного общего образования учащийся получает возможность совершенствовать и расширить круг общих учебных умений, навыков и способов деятельности». В качестве средств познавательной деятельности окружающего мира авторы стандарта называют такие методы, как *наблюдение, измерение, опыт, эксперимент, моделирование* и др.

– В требованиях к уровню подготовки выпускников указывается, что ученик должен знать/понимать признаки биологических объектов и сущность биологических процессов.

Из этих положений явно следует, что при реализации данного стандарта в школьной практике можно лишь сформировать эмпирический уровень мышления. Вместе с тем

в пояснительной записке Государственного стандарта общего образования отмечается, что он предполагает в первую очередь **«значительное обновление содержания образования»**, прежде всего общего образования». Сопоставление приведенных фактов, взятых из стандарта, позволяет сделать вывод, что декларируемая *общая идея стандарта* на значительное обновление содержания образования, и ее конкретизация, отраженная в положениях стандарта, находятся в противоречии.

Основным недостатком анализируемого стандарта является отсутствие фундаментальной методологии, которая бы определила общую стратегию содержания и методов его освоения обучающимися. На приоритетность методологических основ содержания обучения указывает Л.М. Фридман. Именно методологии разного уровня обобщения создают в первую очередь необходимую базу для непрерывного самообразования и совершенствования обучающихся.

Вполне очевидно, что знакомство с методологиями разного уровня общности, при изучении тех или иных предметов, следует начинать еще в школе. На этом особо акцентируют внимание Б.Д. Комиссаров. Следует отметить, что эта идея частично нашла свое воплощение в Учебных стандартах школ России 1998 г. Так, в разделе общая характеристика образовательной области «Биология» отмечается, что «все закономерности, проявляющиеся на каждом структурно-функциональном уровне организации, опираются на *эволюционную теорию как методологическую основу биологии*». В структуре образовательной области «Биология» данного стандарта авторы выделяют три содержательных линии, и в двух из них присутствует термин «система»: «организм – биологическая система», «надорганизменные системы». Третья содержательная линия называется

«многообразии и эволюция органического мира». Попутно можно отметить, что в предыдущем временном проекте государственного образовательного стандарта (1993) она называлась «система и эволюция органического мира». Возможно, что название третьей содержательной линии следовало сохранить, и это давало бы основание констатировать, что в качестве более общей методологии (кроме эволюционного подхода) при разработке всех трех содержательных линий образовательной области «Биология» положен единый системный подход.

Таким образом, авторы разработки предшествующих образовательных стандартов в той или иной мере использовали важнейшие методологические подходы (хотя и не самые фундаментальные) в качестве общей стратегии изучения курса биологии и методологии ее познания. Авторы же ныне действующего стандарта в его основу положили лишь деятельностный подход. Этот психологический подход является, безусловно, важным, но лишь только формой для усвоения и применения других методологий, которые при их усвоении становятся средствами интеллектуального мышления.

Естественнонаучное (биологическое) мышление, как обобщение и высшая форма отражения бытия формируется на основе **диалектической связи** структурных компонентов физических, химических и биологических знаний. В качестве основы диалектической связи выступают, прежде всего, *законы и категории* диалектического материализма. «Категориальный каркас» диалектики отражает универсальные связи бытия и поэтому выступает как *«грамматика» миропонимания*. «На основе категорий образуются новые научные понятия, теоретически осмысливаются, экстраполируются данные опыта, соединяются

результаты познания, достигнутые в разное время, различными и, казалось бы, не имеющими отношения друг к другу способами» [37, с. 15].

Признание диалектичности природы предполагает необходимость ее адекватного отражения на всех этапах исторического развития общества и позволяет *рассматривать диалектическое мышление как родовую форму умственной деятельности человека*. По мнению А. Гордона, механизм диалектического мышления является родовым, универсальным и входит в состав механизмов человеческого творчества [18]. «Овладение умственными действиями связано с овладением средствами мышления. Поэтому диалектическое мышление должно включать в себя умение устанавливать отношения противоположности между различными содержательными единицами анализируемого целого: например, понятиями, положениями, теориями и т.д. Как только такие отношения установлены, сами единицы могут использоваться в качестве *средств диалектических преобразований*» [там же] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Фундаментальное положение Ф. Энгельса о том, что «...законы мышления и законы природы необходимо согласуются между собой...» [134, с. 193], позволяет спроецировать принципы материалистической диалектики в образовательную область и рассматривать их как *важнейшую методологию для разработки нормативных документов и эффективных средств познавательной деятельности обучающихся на теоретическом уровне*.

## 1.2. ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Стратегические направления модернизации общеобразовательной школы касаются, прежде всего, естественнонаучного образования в силу того, что именно эта область человеческих знаний в основном определяет темпы научно-технического развития любого государства и его статус на мировой арене. Новое качество естественнонаучного образования может быть обеспечено лишь на основе *современных обобщенных знаний, умений и навыков*, которые формируются в процессе *различных видов учебно-познавательной деятельности* обучающихся, а впоследствии превращаются в *универсальную систему познания и деятельности* будущих специалистов. Это возможно лишь на базе принципиально новой системы обучения, результатом которой должны быть такие психические новообразования, как *системные предметные и метапредметные знания, обобщенные экспериментальные умения и навыки*, необходимые не только для решения традиционных задач, региональных, но и глобальных проблем, которые могут быть решены в результате сотрудничества в рамках международного сообщества. Только на этой основе можно сформировать *теоретическое естественнонаучное мышление*, которое является основным *критерием качества* естественнонаучных знаний.

Вполне очевидно, что первоначальный фундамент к интеграции научных знаний, а, следовательно, и наук, закладывается еще в школе. В этой связи исключительно важным является рассмотрение вопроса о том, насколько *адекватно и диалектически* отражается общая тенденция науки к ее интеграции

в современных концепциях, направленных на модернизацию образования.

К настоящему времени ведущие специалисты до сих пор не пришли к единому мнению в отношении стратегии по интеграции естественнонаучного образования. Одни считают, что только с помощью интегративных курсов можно поднять на качественно новую ступень наше естественнонаучное образование, другие стоят на полярной точке зрения и усматривают в них негатив. Время покажет верные пути решения этого вопроса.

В данный момент очевидно лишь то, что проблема усвоения интеграции между предметами естественнонаучного цикла возникла не на пустом месте и имеет свои истоки. Важнейшие из них:

1. Запросы практики требуют все большей интеграции знаний различных наук.

2. Выпускники средней и высшей школы к этому не достаточно подготовлены.

Анализ статей, пособий, монографий по проблеме разработки и внедрения интегративных курсов позволяет констатировать, что в дискуссии по данной проблеме участвуют как теоретики, так и практики, которые подходят к ее решению с различных точек зрения. Это вполне закономерно, так как обсуждаемая проблема является системной и несет в себе различные аспекты, определяющие в совокупности ее сущность. Свой взгляд на решение проблемы по реализации интегративных курсов представили И.Ю. Алексашина, В.С. Безрукова, М.Н. Берулава, А.Е. Гуревич, Ю.И. Дик, А.Н. Захлебнов, И.Д. Зверев, В.Р. Ильченко, В.Н. Максимова, А.А. Пинский, Е.А. Писарчук, Ю.И. Полянский, И.Т. Суравегина, Л.В. Тарасов, А.В. Усова, А.Г. Хрипкина, О.В. Щербан, О.А. Яворук и др.

Изучению места интегративных курсов в западных образовательных системах уделено внимание в работах Б.Д. Комисарова, Н.М. Воскресенской и др. Интересные результаты по данной проблеме отражены в публикациях Э.Э. Волковой, Т.М. Гордиец, О.М. Кузнецовой, Т.В. Мухлаевой, М. Пак, С.М. Похлебаева, Д.В. Ровкина, С.А. Сергеенок, Е.К. Страута и др.

Несмотря на все многообразие подходов к решению данной проблемы, можно выделить два основных.

**Первое направление** связано с реализацией концепции, разработанной группой исследователей под руководством академика А.Г. Хрипковой. В качестве обоснования данной концепции авторы ссылаются лишь на социальный заказ общества и низкий уровень естественнонаучных знаний выпускников школ. Методологические аспекты данной проблемы, которые должны определить стратегические подходы к усилению интегративных тенденций при изучении естественных наук в школе, этими авторами вообще не рассматриваются. Концепция данных исследователей предполагает изучение курса «Естествознание» с 1 по 6 (7) класс, что послужит пропедевтической основой для изучения базовых естественнонаучных дисциплин: биологии, географии, химии и физики [123].

Анализируя методологические основы построения экспериментальных программ и учебников по курсу «Естествознание», И.Д. Зверев приходит к выводу, что в них как бы *механически соединены отрывочные сведения по физике, химии, биологии в одном предмете*, поэтому разрозненный материал оказался не скрепленным заявленными идеями. Превалирует *эмпирическое познание*, в то время как достаточная доза *теоретического материала* необходима в логике предметного содержания уже в среднем звене. Смена курса в содержании

образования предполагает не только качественное преподавание интегрированного курса «Естествознание», но и проведение необходимых изменений в других предметах по горизонтали и вертикали учебного плана. Иначе говоря, возникает необходимость *кардинальной перестройки всей конструкции естественнонаучных знаний*, а не просто механическая вставка нового предмета в содержание школьного обучения. Необходимо четко выявить интегративные связи, гармонизирующие содержание предмета как единого целого. В работе заостряется внимание и на других важных проблемах, без решения которых невозможно осуществить намеченные реформы: создание соответствующей предмету «Естествознание» «интегрированной методической системы», подготовка учителей к ведению интегрированного курса и др. [27].

Проекты программ для «Естествознания», как интегративного курса, разработанных А.Г. Хрипковой с сотрудниками, остро критикует чл.-кор. Академии наук СССР Ю.И. Полянский: «...может показаться, – пишет автор, – что предлагаемые программы – это целый революционный переворот в преподавании естествознания в школе, новый прогрессивный этап в построении школьного курса наук о природе... Результат, по нашему мнению, получится прямо противоположный добрым пожеланиям авторов. Предлагаемая программа, если она будет принята, приведет к полному нарушению систематических знаний учащихся по основам наук о природе, верхоглядству, непониманию основных законов природы» [66, с. 48]. Не отрицая необходимости к установлению более глубоких межпредметных связей биологии с химией, физикой, физической географией, математикой, автор полагает, что это необходимо делать в рамках традиционной дифференцированной системы

обучения. Предлагаемые программы и курс «Естествознание», по мнению Ю.И. Полянского, представляют собой искусственную смесь наук о природе, в которой полностью утеряна логика отдельных биологических дисциплин. Это не позволит школьникам сформировать даже представление об основах наук и не подготовит их ни к дальнейшему обучению, ни к практической жизни. Рассматривая содержание конкретных программ, автор резонно указывает на имеющие место нестыковки и противоречия по формированию тех или иных понятий, их взаимосвязи, а также акцентирует внимание на проблеме отсутствия, на сегодняшний день, специалистов, которые были бы готовы вести в школе курс «Естествознание» [там же, с. 48–49].

Критикуют концепцию А.Г. Хрипковой относительно введения курса «Естествознание», предусматривающего в 1–7 классах «слияние» биологии с курсами физики, химии, географии и астрономии, известный специалист в области генетики академик Н.П. Дубинин с сотрудниками. По их мнению, это «...попытки всеми силами «выжить» биологию из школы... Биология как самостоятельный предмет должна изучаться в школе на протяжении всех лет обучения, причем преподавание предмета должно идти по нарастающей, с учетом возврата к основным понятиям, но на качественно более высоком уровне» [24, с. 16].

Отсутствие глубокой методологической обоснованности концепции, подготовленной А.Г. Хрипковой с сотрудниками, по видимому, не позволило убедить и тех авторов, которые, в принципе поддерживая идею введения интегрированного курса, не согласны с тем фактом, что основой для такой интеграции

в пропедевтическом курсе «Естествознании» в 5–7 классах должны являться эмпирические знания. К ним относятся Е.А. Писарчук и О.В. Щербан, которые считают, что эмпирический уровень интеграции знаний недостаточен. Об этом, по их мнению, свидетельствует предыдущая практика в области естественнонаучного образования, в основу которой был положен эмпирический подход. Такие знания характеризовались репродуктивностью, нейтральностью, низкой функциональностью, не вызывая особого интереса у школьников. Вышеназванные исследователи предлагают свою концепцию интеграции естественнонаучных знаний *на теоретическом уровне*. В качестве методологических принципов своей концепции они определили структуру, системное содержание и функции современного научного знания, а также необходимость логического соответствия научных и школьных знаний по этим параметрам (так как в школе изучаются основы научного знания). Именно эти тезисы дают им основание сделать вывод, что основой для интегрирования знаний может быть только принцип теоретичности [64].

Таким образом, проблема интеграции естественнонаучных знаний в школе, определяемая экономическими и политическими запросами общества, является исключительно важной и, вместе с тем, сложной. Ее решение, как минимум, требует:

– глубокой теоретической (философской) подготовки для понимания взаимосвязи и развития такой диалектической пары, как «интеграция и дифференциация». Только на основе глубокого понимания этой методологии, играющей важную роль при формировании научного знания, можно разработать и научные концепции, направленные на интеграцию естественнонаучных знаний в современной школе. Весь исторический опыт

развития научного знания свидетельствует, что одностороннее (искусственное) выпячивание одного или другого принципа тормозит как развитие науки, так и образования, – в то время как разумное сочетание этих принципов ускоряет темпы развития научного знания. Поэтому в настоящее время не должен стоять вопрос о том, нужно или не нужно усиливать интеграцию естественнонаучных знаний в рамках школы, а необходимо найти такие тактические подходы, которые позволят это сделать максимально эффективно;

– комплексного подхода, который обеспечит одновременную работу всех содержательных линий Госстандарта (без исключения) по реализации этой идеи, в противном случае, даже «зависание» одной из них, не позволит добиться намеченных результатов;

– коренного пересмотра иерархии, содержания и взаимосвязи таких дифференцированных курсов, как физика, химия, биология и география. *Курсу биологии в этой иерархии необходимо отвести соответствующее место*, так как данная дисциплина изучает наиболее высокую форму движения материи – биологическую, а потому понимание ее сущности возможно только на основе ее генетических форм – *физической и химической*. Это существенно усилит межпредметную интеграцию естественнонаучных знаний в рамках дифференцированного обучения, а интегрированные курсы окончательно ее завершат. К сожалению, в методической литературе эта проблема очень редко поднимается, хотя на необходимость ее решения указывают такие видные ученые, как Б.Д. Комиссаров [33], Б.М. Медников, А.А. Нейфх [20].

С учетом вышеназванных и других требований разработано **второе направление**, предусматривающее фундаментальную перестройку всего естественнонаучного образования

и приведение его в соответствие с объективными законами развития природы. В основу этого направления положена *Концепция естественнонаучного образования*, автором которой является академик РАО А.В. Усова. Концепция была включена в план исследования РАО и поддержана грантами Министерства образования РФ. По мнению данного исследователя, введение интегративных курсов с их обобщающей функцией не должно устранять систематические курсы биологии, физики, химии, географии, которые обеспечивают усвоение эмпирических и теоретических знаний в логике развития понятий и истории конкретной науки. Сочетание систематических (предметных) и интегративных (межпредметных) учебных курсов представляется важным условием формирования гибкости ума школьников и студентов, развития у них способности к нестандартному мышлению [111].

А.В. Усова предлагает начинать изучение предметов естественнонаучного цикла с опережающего курса физики. Вслед за физикой изучаются химия, география и биология. Систематизация и обобщение естественнонаучных знаний предлагается в старших классах в рамках интегративного курса «Естествознание» (однако этот курс не заменяет физику, химию и биологию в старших классах). Опережающее изучение физики позволяет получить знания на теоретическом уровне и использовать их для объяснения сущности химических явлений и закономерностей. В свою очередь изначальные физические и химические знания позволяют раскрыть сущность биологических явлений, протекающих в живой природе. Таким образом, появляется возможность отразить в школьном образовании преемственность, взаимосвязь и взаимозависимость естественных наук, *диалектику их развития и взаимодействия*.

Главная отличительная особенность концепции, предложенной А.В. Усовой, заключается в том, что она направлена на решение стратегической проблемы в области естественнонаучного образования, которое спроецировало на себя противоречие, касающееся становления и развития биологической науки, когда она на первом этапе развивалась сама по себе, без опоры на теоретические знания и практические методы физической и химической наук.

Следует отметить, что вышеуказанное противоречие неоднократно пытались и пытаются решить за счет введения в начальной школе интегрированных курсов естествознания. Однако результаты таких экспериментов неутешительны.

Исходя из этого исторического противоречия и учитывая неэффективные попытки других исследователей решить данную проблему за счет тактических нововведений, вышеуказанный автор приходит к выводу, что современные научные биологические знания невозможно формировать без опоры на физические и химические понятия, законы и теории. Из этого следует, что необходимо кардинально переработать учебные планы, программы и содержание учебников по естественнонаучным дисциплинам в средней школе и курсу биологии, отвести им должное место.

В основу концепции А.В. Усовой положены следующие *теоретико-методологические положения*:

1. «Дальнейшее развитие общества невозможно без решения экологических проблем, которые требуют коренного изменения всего естественнонаучного образования, ориентации всех предметов естественного цикла на усиление внимания к вопросам экологического воспитания, ознакомления обучающихся с научными основами современных экологически чистых

технологий. Современные технологии опираются на комплексное использование достижений естественных наук, что требует ознакомления с данной проблемой обучающихся – будущих специалистов различных отраслей народного хозяйства.

2. Наличие существенного разрыва между содержанием предметов естественнонаучного цикла в основной и средней школах, с одной стороны, и уровнем развития соответствующих наук, основы которых изучаются в школе, с другой стороны, определяет необходимость сократить этот разрыв. Особенно значителен этот разрыв между содержанием школьного курса биологии и уровнем развития современной биологической науки. В курсе биологии рассматривается лишь явленческая сторона физиолого-биохимических процессов, в то время как для понимания их сущности необходимы фундаментальные физические и химические знания, которыми обучающиеся не обладают. Вместе с тем решение многих насущных проблем человечества возможно только на основе понимания биологических механизмов на молекулярном и субмолекулярном уровнях.

3. Перестройка курса биологии неизбежно приводит к необходимости перестройки содержания и структуры курсов физики и химии, а также изменения их места в учебном плане. Биология должна опираться на знания по физике и химии. Физика является лидером в естествознании. Ее фундаментальные понятия, законы и теории являются «работающими» в биологии и химии. В историческом развитии естественных наук физика служила базисом развития других наук. И в современном естествознании открытия новых научных фактов опираются на тесную связь всех естественных наук и широкое использование физических методов исследования (рентгеноструктурный и люминесцентный анализы, молекулярная спектроскопия и т.д.).

4. Современное содержание предметов естественного цикла не обеспечивает раскрытия перед учащимися взаимосвязи физических, химических и биологических форм материи, общности фундаментальных естественнонаучных понятий, законов, теорий, общности методов исследований, формирования единой естественнонаучной картины мира. Этот серьезнейший недостаток в содержании и структуре предметов естественного цикла требует незамедлительного устранения» [111, с. 3–4].

Из приведенных выше положений следует, что повышение уровня естественнонаучного образования современных школьников, приведение его в соответствие с уровнем развития науки и запросами общества возможно только при условии кардинальной перестройки содержания всех предметов естественного цикла и пересмотра последовательности их изучения в школе. *Это потребует опережающего изучения курсов физики и химии, обеспечивающих своевременное формирование у обучающихся понятийной базы, необходимой для успешного изучения современного курса биологии.*

При этом согласно данной концепции должна раскрываться общность фундаментальных понятий, законов, теорий, методов исследования, диалектической взаимосвязи физических, химических и биологических явлений [там же].

Инновация концепции, разработанной А.В. Усовой, заключается прежде всего в том, что в ее основу положены две важнейшие *методологические идеи*, которые позволяют вывести естественнонаучное образование на новый качественный уровень. *Первой* исходной и фундаментальной является идея (учение) диалектического материализма о генетической связи различных форм движения материи, их иерархичности и преемственности. Согласно данному учению основополагающей

является физическая форма движения материи, которая в процессе своего развития «породила» более сложную – химическую форму движения, а она, в свою очередь, – биологическую. Эволюция материи нашла отражение в истории возникновения и развития естественных наук: физики, химии, биологии. Их основные принципы становления и развития наук в полной мере отражают принципы становления и развития соответствующих форм движения материи, которые они познают. По мнению А.В. Усовой, данные принципы должны быть перенесены и в образовательную область естествознания, где они послужат *методологической основой* для разработки новых концепций естественнонаучного образования, которые будут отражать как закономерности развития форм движения материи, так и эволюцию естественных наук.

Сущность *второй* идеи, положенной в основу построения данной концепции естественнонаучного образования, заключается в рациональном сочетании таких направлений развития научного знания, как *дифференциация и интеграция*. В основной школе согласно данной концепции обучение строится на основе предметного *дифференцированного* преподавания физики, химии, биологии и географии. Вместе с тем в 10–11 классах вводится *интегративный* курс «Естествознание», который призван систематизировать и обобщать знания, полученные обучающимися в 5–9 классах по предметам естественного цикла [135].

Диалектическое сочетание вышеобозначенных подходов и позволяет, по мнению автора концепции, привести в соответствие иерархию, содержание естественных дисциплин, изучаемых в школе, и уровень развития современной науки, а также удовлетворить запросы, продиктованные научно-технической революцией.

Реализация новой концепции естественнонаучного образования предопределила решение комплекса теоретико-методологических задач:

– необходимость научного обоснования новой последовательности изучения предметов естественного цикла: физика, химия, биология, вместо традиционного: биология, физика, химия;

– пересмотр содержания учебных предметов и прежде всего биологии с учетом новейших достижений биологической науки, отражения в содержании учебного предмета роли физических и химических процессов в жизнедеятельности живых организмов;

– определение общих для всех предметов естественного цикла понятий, законов и теорий, последовательности в раскрытии их содержания;

– обеспечение единства интерпретации общих понятий, законов и теорий, своеобразия оперирования ими в каждом из учебных предметов в соответствии со спецификой изучаемых структурных форм организации материи и форм движения;

– обеспечение преемственности в формировании и развитии фундаментальных естественнонаучных понятий и общих учебно-познавательных умений;

– выявление возможностей и способов раскрытия взаимосвязи физических, химических и биологических явлений, выявление влияния физико-химических процессов на развитие живых организмов;

– разработка единого подхода к формированию общих для предметов естественного цикла учебно-познавательных умений на основе теории деятельности и принципа преемственности;

– разработка критериев эффективности применяемых методов и форм обучения на основе пооперационного анализа уровней сформированности умений и поэлементного анализа качества усвоения понятий;

– разработка эффективных форм повышения квалификации учителей, участвующих в эксперименте [109].

Эксперимент по внедрению концепции естественнонаучного образования проводился в период с 1994/95 уч. г. по 2005/2006 уч. г. на экспериментальных площадках г. Челябинска и области, а также за ее пределами. Под руководством академика А.В. Усовой была создана исследовательская группа преподавателей и учителей, в которую вошли М.Д. Даммер, С.М. Похлебаев, М.Ж. Симонова, А.Ю. Румянцев, О.К. Яворук, С.Н. Рябченко и др., которые обеспечили в рамках этой концепции разработку частных концепций и экспериментальных программ для курсов физики, химии, биологии и географии; экспериментальных учебников по опережающему курсу физики; методических рекомендаций, пособий и дидактического материала для учителей и т.д.

Проведенный педагогический эксперимент по проверке педагогической эффективности реализации Новой концепции естественнонаучного образования в основной (9-летней) школе, основанной на опережающем изучении курса физики с пятого класса, показал, что разработанная нами модель весьма эффективна. Реализация данной модели образования в школьной практике свидетельствует не только о более высоком качестве знаний обучающихся по всем предметам естественного цикла, но и более высоком уровне сформированности у них учебно-познавательных умений.

Усвоение обучающимися фундаментальных естественнонаучных понятий, законов, теорий в 5–6 классах создает научный фундамент для изучения биологических систем разного уровня организации не только *на эмпирическом уровне, но и на теоретическом*. При этом усваивается не только понятийный аппарат курсов физики и химии, но и методы и приемы, которые позволяют добывать научные знания об объектах и явлениях окружающего мира. Важнейшим из них является функциональный подход, применение и усвоение которого в курсах физики и химии позволит эффективно его использовать и углубить при изучении физиологических функций у живых организмов, понимать их сущность и управлять ими в практической деятельности.

Эксперимент также показал, что *концепция, построенная на основе общих законов развития природы, сама является методологической основой* для разработки программно-учебного материала для всех предметов естественного цикла и гарантирует единую стратегию формирования *научного знания на теоретическом уровне*. В конечном итоге данная стратегия усваивается обучающимися и становится *методологической основой познания объективной реальности и фундаментом для их научного мировоззрения*.

### **1.3. СОПРЯЖЕНИЕ КАК ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЙ МЕХАНИЗМ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМНО-ДЕЯТЕЛЬНОСТНОГО ПОДХОДА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЖИВЫХ ОБЪЕКТОВ В КУРСЕ БИОЛОГИИ**

Знание как система носит многоуровневый характер, что отображает *системный принцип организации материи в целом, иерархию методов ее познания и их результаты*, которые

в сознании человека отражены опосредованно в виде восприятий, понятий, суждений и теорий. Основной «клеточкой» знаний являются понятия, универсальной формой которых являются *категории диалектики*, выражающие общие принципы организации, функционирования и эволюции природы, общества и мышления.

Усвоение сущности категорий диалектики, их взаимосвязей, а, следовательно, и сущности общих законов природы создает методологический фундамент для формирования теоретического естественнонаучного мышления. Это возможно потому, что общими законами мышления, согласно Ф. Энгельсу, являются общие законы природы «... законы мышления и законы природы необходимо согласуются между собой, если только они надлежащим образом познаны» [134, с. 193]. Анализируя этот тезис, П.В. Копнин отмечает: «мысль движется по законам предмета, иначе на основе человеческих идей нельзя было бы создать в практике вещей, объектов. После того, как законы и формы развития познаны, они превращаются в сознательно используемые принципы и приемы теоретического мышления, а потому диалектика как теория развития явлений объективного мира становится *логикой*, наукой о постигающем этот мир мышлении, его законах и формах» [37, с. 45] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Материалистическая диалектика, таким образом, является логикой не потому, что она изучает мышление, а потому, что вскрывая законы движения материи, она становится и методом (логикой) движения мышления при выявлении объективной природы предмета. Именно это имел в виду Г.В.Ф. Гегель, когда писал: «Логика есть учение не о внешних формах мышления, а о законах развития «всех материальных, природных и духовных вещей» [17, с. 206].

Развитие диалектической логики означает дальнейшую разработку категорий материалистической диалектики, обогащение их содержания, *выдвижение новых понятий, выступающих в роли категорий диалектики*, установление связи между ними, построение системы, позволяющей в наиболее полном виде выражать их содержание и двигать научное знание вперед. Законы и категории материалистической диалектики служат основой *синтеза знаний*, направляют мышление на поиск решения новых проблем в науке. В свою очередь диалектический метод мышления возникает на базе *обобщения результатов познания предмета*, его закономерностей, знание которых используется как орудие его дальнейшего познания. Эти обобщенные результаты фиксируются в категориях и законах материалистической диалектики, которые являются универсальными формами познания бытия. Одним из таких *результатов обобщения науки*, полученных нами, является естественнонаучная категория *сопряжения* [75].

Системный подход как общенаучная методология познания конкретизирует принципы диалектического материализма. В свою очередь, сопряжение как один из важнейших принципов организации и эволюции материи конкретизирует идеи системного подхода, который является мощным общенаучным методом исследования, однако не дает всеобъемлющего представления об объекте и неизбежно, как всякая *абстракция*, обедняет исследуемую реальность.

Изучение системности как самостоятельного предмета связано с именем А.А. Богданова, который опубликовал с 1911 по 1925 гг. свои изыскания в трех томах под названием «Всеобщая организационная наука (тектология)». Ему принадлежит идея о том, что все существующие объекты и процессы имеют определенную степень, *уровень организованности*.

Все явления он рассматривал как непрерывные процессы *организации* и *деорганизации*. А.А. Богданов выявил важнейшую закономерность взаимосвязи между уровнем организации системы и ее свойствами. *Уровень организации системы тем выше, чем сильнее свойства целого отличаются от простой суммы свойств его частей*. Особенностью тектологии А.А. Богданова является то, что основное внимание уделяется *закономерностям развития организации* [8]. По мнению И.В. Прангишвили и В.И. Садовского, организация является важнейшим признаком развивающихся систем [77; 85].

Общие принципы организации и эволюции материи имеют исключительное значение в понимании сущности организации живых систем. Одним из них является *принцип сопряжения*. Сопряжение как *внутренняя сторона взаимодействия* сыграло и играет важнейшую роль в эволюции материи, в том числе и в возникновении и эволюции биологической формы движения материи, которая возникла на основе физической и химической форм движения. Доказательством этого положения является высказывание видных ученых, которые подчеркивают, что «в процессе химической эволюции при наличии всех необходимых для нее условий происходит *усиление роли сопряженности*. *Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона **организации** динамических неравновесных систем*» [118, с. 165] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Остается только добавить, что к таким динамическим неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой. Таким образом, повышение уровня организации систем в процессе эволюции материи обусловлено *увеличением сопряженности между ее элементами*.

В отличие от *системного подхода*, который декларирует необходимость изучения *связи* между элементами любой системы, *принцип сопряжения* предписывает выявление *механизма взаимосвязи* между компонентами изучаемых систем, то есть выявление той *области сопряжения* между элементами системы, которая является *общей* для них и обеспечивает *целостность* этой системы, а, следовательно, и ее *качественную* особенность. Сопряжение как внутренняя сторона взаимодействия является одним из механизмов, с помощью которого происходит *взаимосвязь* между элементами системы и с помощью которого можно управлять данной системой.

Принцип сопряжения конкретизирует одновременно два методологических подхода – *системный* и *деятельностный*. Первая часть этого принципа предписывает нахождение элементов у зарождающейся системы, вторая, деятельностная сторона, – выявляет сопряженную (общую) область между структурными элементами, механизм взаимодействия между ними, который обуславливает возникновение нового качества у вновь возникшей системы.

По выражению В.И. Ленина: «...Диалектика есть изучение противоречия в самой *сущности предметов...*» [44, с. 227]. Основными ступенями противоречия являются *тождество*, *различие*, *противоположность*. Категория тождества обозначена как приоритетная, и это не случайно. Противоречие разрешается только в том случае, когда в противоположностях находятся тождественные (одинаковые) предметы и явления, которые, взаимодействуя между собой, образуют *сопряженные* (общие) области. Эти области сопряжения обеспечивает взаимосвязь между противоположностями, и на этой основе возникает система с новым качеством.

Являясь главным компонентом развития, сопряжение и проявляется как развитие, выступает внутренним механизмом, обуславливающим *интегральность, целостность, направленность процессов развития любой системы и по существу регулирует развитие учебного познания*. Огромная важность принципа сопряжения в познании материального мира инициировала наше исследование методологической значимости категории сопряжения в образовательной области и ее статуса в учебно-воспитательном процессе студентов вуза.

Принцип сопряжения способствует снятию существующего в предметной системе обучения *противоречия между разрозненным по предметам усвоением знаний студентов и необходимостью их синтеза, комплексным применением интегрированных (метапредметных) знаний не только учителями, но и любыми специалистами в их профессиональной деятельности*. Вооружение выпускников вузов знаниями и умениями такого рода есть актуальная социальная задача, обусловленная тенденциями интеграции в науке и практике и востребованностью творческого подхода к решению проблем в условиях научно-технического прогресса. Такая стратегия образования четко прослеживается в государственных стандартах.

По мнению Н.С. Пурышевой, общая стратегия реализации школьных и вузовских стандартов предусматривает последовательную методологизацию изучаемых предметов, т.е. *«превращение общекультурных (метапредметных) универсальных знаний и умений, связанных с освоением общекультурных способов организации и осуществления своей учебной и иной деятельности, в центральное и ведущее звено всего образовательного процесса»* [78, с. 11]. К таким универсальным (метапредметным) знаниям в полной мере можно отнести

естественнонаучную категорию сопряжения, которая, являясь одной из важнейших внутренних сторон взаимодействия, подчёркивает философскую фундаментальность предмета, превосходящую научно-экспериментальный уровень его освоения.

Как уже было отмечено выше, категория «сопряжение» не только отражает один из механизмов организации и эволюции материи, но и является тем методологическим (дидактическим) принципом, который после усвоения его содержания становится эффективным средством познавательной деятельности школьников, студентов и преподавателей при изучении конкретных объектов неживой и живой природы. Такой вывод согласуется с мнением А.В. Хуторского, который подчеркивает, что наиболее общие фундаментальные понятия и категории также являются фундаментальными образовательными объектами, поскольку благодаря глубинному смыслу принадлежат как реальному, так и идеальному миру [123].

#### **1.4. СОПРЯЖЕНИЕ – КАТЕГОРИЯ ПОЗНАНИЯ И ДИДАКТИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН**

Главной тенденцией современного познания, в философском смысле, является возрастание активности субъекта в ходе постижения им объективной реальности. Это обусловлено возрастающими темпами научно-технической революции, детерминирующей все новые и новые знания о мире, которые могут быть получены только лишь в результате *взаимодействия* между субъектом и объектом. Поэтому, неслучайно, Ф. Энгельс писал: «*Взаимодействие* – вот первое, что выступает перед нами,

когда мы рассматриваем движущуюся материю в целом с точки зрения теперешнего естествознания [134, с. 199]. Развивая эту мысль, он подчеркивает, что сущность всех объектов и явлений познается при взаимодействии. «Мы не можем пойти дальше познания этого взаимодействия именно потому, что позади его нечего больше познавать» [там же].

Взаимодействие, как показано выше, не является однозначным процессом. В одних случаях оно приводит к деградации, разрушению, снижению уровня организации системы, в других – к объединению, созданию более сложной системы, у которой возникает *новое качество*. Второй тип взаимодействия охарактеризован нами как **сопряжение** [75; 104]. В связи с этим возникает необходимость в перенесении из предметов физики, химии и биологии 10–11 классов некоторых вопросов, знания по которым нужны каждому человеку нашего общества, в программы соответствующих предметов основной школы. К числу таких вопросов относятся: явление радиоактивности, радиоактивные изотопы, квантовый характер излучения и поглощения энергии атомом, влияние электрического и магнитного полей и радиоактивных излучений на живые организмы, флору, фауну [109].

Результаты естественных наук свидетельствуют, что природа широко использует *сопряжение* как принцип эволюции вещества. Действие этого принципа имеет место во всех природных формах движения материи: физической, химической и биологической. Особенно важен этот принцип при возникновении новой формы движения материи, у которой возникает абсолютно *новое качество*. На этом основании предлагается возвести данное понятие в ранг категории, спроецировать его

в образовательную область и рассматривать в качестве важнейшего *методологического средства познания*.

Стратегию развития диалектической логики определил на долгие годы В.И. Ленин. Она должна быть направлена как на дальнейшее углубление категорий материалистической диалектики, обогащение их содержания, а также *выдвижение новых понятий, выступающих в роли категорий диалектики*. Он показал, каким путем может идти обогащение диалектики как метода научно-теоретического мышления. Он подчеркивал, что категории диалектической логики должны находиться в состоянии непрерывного действия, своеобразного напряжения. Они возникли на определенном опыте, *анализе результатов* развития общества и *научного знания*. Необходимо их сопоставлять с новым, еще не исследованным опытом и не только научного знания, но и общественного развития в целом [44] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Таким образом, сама деятельность *субъекта* и его активность содержательно обусловлены свойствами и закономерностями *объекта*, ранее усвоенными человеком. Поэтому и в мыслительной и практической деятельности субъект работает по законам объективной реальности. Отсюда следует, что диалектический метод мышления возникает на базе *обобщения результатов познания предмета*, его закономерностей, знание которых используется как орудие его дальнейшего познания. Эти обобщенные результаты фиксируются в категориях и законах материалистической диалектики, которые являются универсальными формами познания бытия. Одним из таких *результатов обобщения в науке* является категория *сопряжения*.

Осмысление и понимание сущности *сопряжения* как важнейшей стороны *взаимодействия* дает основание для предположения, что данная категория может быть обоснована и как

важнейший *дидактический принцип обучения и воспитания*. Дидактические принципы, как правило, являются проекцией общих законов природы и тех философских категорий, через которые они выражаются. Например, такие дидактические *принципы*, как преемственность, системность, принцип развивающего обучения и др., выведены из философских законов и категорий, которые вскрывают наиболее общие тенденции развития явлений объективного мира, и одновременно являются правилами и формами человеческого познания, мышления.

Принцип как *категория педагогического знания есть* научное положение, которое, с одной стороны, *отражает познannую и обосновannую закономерность*, а с другой – *предписывает*, как правильно строить процесс обучения и воспитания в соответствии с познannой закономерностью [62, с. 217]. Первое положение данного определения, касающееся сопряжения как научного принципа, отражающего организацию, функционирование и эволюцию различных форм движения материи, как уже было отмечено выше, нами уже обосновано. Остается решить вторую важнейшую задачу, то есть показать, как, руководствуясь данной закономерностью, необходимо выстроить весь процесс обучения и воспитания при изучении студентами биологических дисциплин в вузе. И тем самым доказать, что категория сопряжения может выполнять функцию современного и эффективного *дидактического принципа* обучения и воспитания. Кроме того, теоретические выкладки должны быть проверены на практике.

Методологическую основу сопряжения как современного дидактического принципа обучения составляет положение материалистической диалектики о всеобщей связи всех процессов и явлений в природе и обществе, о материальном единстве мира.

Это положение воплощается в диалектическом методе познания, требующем рассматривать все процессы и явления в их *развитии, во взаимосвязи, в единстве и борьбе противоположностей*. Диалектический метод конкретизируется в системно-синергетическом подходе, предполагающем изучение объектов как *систем*, имеющих свою структуру, иерархию, *связь* элементов и свои особенные свойства и функции. Применение диалектического метода и системного подхода к изучению живой природы позволили Ч. Дарвину создать эволюционное учение, которое является метатеорией всей биологической науки и методологией ее развития. Таким образом, иерархия методов познания отображает системный принцип организации материи, поэтому при изучении природного объекта определенного уровня организации необходимо подобрать и соответствующий метод познания.

Сущность диалектического метода и системного подхода раскрывается через категории, одной из которых является *сопряжение*. Сопряжение как принцип организации материи необходимо рассматривать как дополнение к системному подходу. В отличие от *системного подхода*, который декларирует необходимость изучения *связи* между элементами любой системы, *принцип сопряжения* предписывает выявление *взаимосвязи* между компонентами изучаемых систем, то есть выявление той *области сопряжения* между элементами системы, которая является *общей* для них и обеспечивает *целостность* этой системы, а, следовательно, и ее *качественную* особенность. Понятие «*сопряжение*» отражает тот *механизм*, с помощью которого происходит *взаимосвязь* между элементами системы и с помощью которого можно управлять данной системой.

Если принцип *сопряжения* обеспечивает *непрерывность* природных объектов и явлений, то в образовательной области он должен обеспечить непрерывность (*сопряжение*) всех понятий, приведение их в единую систему, которую, по-видимому, можно обозначить как *сопряженное понятийное поле*. Отдельные понятия отражают не только сущность объектов и явлений, но и их взаимодействие (*сопряжение*) с другими объектами. «Каждое понятие находится в известном отношении, в известной связи со всеми остальными» [44, с. 179]. Отсюда следует, что принцип *сопряжения* как исходное дидактическое положение выступает в двух аспектах – *методологическом и общедидактическом*.

Методологический аспект сопряжения проявляется, во-первых, в том, что он является одной из сторон важнейшего атрибута материи – *взаимодействия*, а, во-вторых, отражает сущность организации, функционирования и эволюции любой природной и социальной системы. Методологическая функция данного принципа просматривается и через призму основного закона развития природы – *единства и борьбы противоположностей*, который является не только законом развития объективного мира, но и законом познания. Этот закон служит ядром диалектики и объясняет *внутренний источник всякого развития*. «Диалектическое мышление не рассекает целое, абстрактно разделяя крайности, а, напротив, осваивает целое как органическое, как систему, в которой противоположности взаимодействуют (*сопряжены* – прим. авторов), обуславливая весь процесс ее развития» [119, с. 141].

Сопряжение как всеобщая категория выявлено путем анализа и нахождения общих признаков (свойств, отношений, тенденций развития и т.п.) у различных форм движения материи.

После чего данное понятие может выполнять свою *дидактическую функцию* в сфере образования – выявление взаимосвязи (*областей сопряжения*) между понятиями, законами и теориями, что приведет к новому уровню *обобщения* знаний и, следовательно, к новому уровню абстрактного мышления у студентов.

Понятие «межпредметная связь» является лишь формой, которая указывает на необходимость взаимодействия между разными предметами. В то время как понятие «сопряжение» отражает содержательную сторону этого взаимодействия. Принцип сопряжения как метод познания определяет стратегию, которая *выявляет те содержательные области понятий, законов, теорий, являющихся общими как для биологических курсов в частности, так и для естественнонаучных дисциплин в целом.*

Сопряжение как самостоятельный дидактический принцип должно определять стратегию всех компонентов процесса обучения: цели, задач, содержания, форм, методов, средств и результатов. Реализация этой стратегии позволит сконструировать дидактическую систему, в которой перестраиваются все этапы деятельности преподавателя и студента. Отражая взаимосвязь объектов и явлений природы, принцип сопряжения может составить ядро научной картины мира, которая, в свою очередь, послужит базой для формирования у студентов научного мировоззрения и экологического сознания. Овладение студентами сопряжением как категорией диалектики будет способствовать развитию у будущих педагогов диалектического, творческого мышления, которое в настоящее время все больше осознается как общечеловеческая ценность.

## 1.5. МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ СОПРЯЖЕННЫХ ПОНЯТИЙ «ФОРМА И СОДЕРЖАНИЕ» В КУРСАХ ФИЗИКИ, ХИМИИ И БИОЛОГИИ

Вся организация живого естественнонаучно может быть интерпретирована как результат протекания эволюционного процесса. При этом нужно специально рассмотреть вопрос об уровнях организации живого на Земле как одного из важнейших результатов эволюции. Для этого, по мнению Н.В. Тимофеева-Ресовского, необходимо выделить два основных подхода: во-первых, необходимо рассмотреть живое само по себе, феноменологически попытаться выделить определенные ступени или уровни организации жизни; во-вторых, неизбежно рассмотрение живого как важнейшего элемента в среде протекания процесса эволюции [98]. В этой связи задача теоретической биологии, подчеркивает Э. Баур, заключается «именно в стремлении найти законы движения живой материи и при их помощи объяснить закономерности различных форм их проявлений при различных условиях» [цит. 9, с. 26] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Рассматривая взаимодействие как основу каждой формы движения, необходимо иметь в виду не воздействие друг на друга отдельных частиц, составляющих элементарный акт, входящий в данную форму движения как исходную по отношению к ней низшую форму движения, а совокупное взаимодействие всех элементов, из которых образуется система тел как носитель изучаемой нами формы движения. В соответствии с этим, по мнению Б.М. Кедрова, «специфику форм движения «надо искать в характере и типе того взаимодействия (*сопряжении – прим. автора*), благодаря которому образовался данный вид материи, играющий роль специфического носителя данной формы движения» [30, с.169].

Взаимодействие содержания и формы – типичный случай взаимоотношения диалектических противоположностей, характеризующихся как единством содержания и формы, так и противоречиями и конфликтами между ними. «Единство содержания и формы относительно, преходяще, в ходе развития неизбежно возникают конфликты и противоречия между ними. В результате появляется несоответствие между содержанием и формой, которое, в конечном счете, разрешается «сбрасыванием» старой и возникновением новой формы, адекватной изменившемуся содержанию» [119, с. 434–435]. Данный пример свидетельствует о фундаментальности и адекватности диалектической теории развития материи.

Приведенные рассуждения позволяют констатировать, что эволюция физической, химической и биологической форм движения материи во многом обусловлена как *количественными составляющими* (разнообразием элементов структуры), так и *специфическими связями*, объединяющими эти элементы в целостные системы, придавая им те или иные *формы*, а, следовательно, и функции (свойства), благодаря которым неживые и живые системы могут в определенной степени соответствовать тем или иным условиям внешней среды, и при взаимодействии с ней изменять *свою форму* либо по пути регресса, либо совершенствования.

Таким образом, общие закономерности эволюции природных объектов, очень четко высвечиваются при анализе таких важнейших их характеристик, как *форма и содержание*. Являясь противоположными по существу, и взаимодействуя друг с другом, они предопределяют *бесконечное развитие объектов* по пути их упрощения или усложнения. В основе механизма этих изменений лежит *закон перехода количественных изменений*

в качественные. Вектор направленности по пути прогресса или регресса определяется законом отрицания отрицания.

Диалектическая пара категорий «форма и содержание», отражающая общие закономерности развития природных объектов, имеет большое значение и в образовательной области, так как, по выражению П.В. Копнина, «движение мысли, считает состоит в развитии познавательного образа, в движении от незнания к знанию» [37, с. 166]. Данная закономерность может служить методологической основой для изучения естествознания в целом, и курса биологии в частности. Конкретизация этой идеи может быть осуществлена при разработке образно-знаковых моделей высокого уровня интеграции. Наиболее высокий уровень интеграции эти модели могут иметь в курсе биологии, которая изучает самую высокоорганизованную (из природных) форму движения материи – биологическую, заключающую в себе «в скрытом виде» своих генетических предшественников – физическую и химическую формы движения.

Для выяснения любой проблемы, связанной с моделированием как методом познания, в частности, знаковым, педагогическая наука опирается на философские и психологические теории, так как сущность понятий о модели, знаке, знаковых системах и моделях раскрывается, прежде всего, в рамках философского и психологического знания.

Под знаком чаще всего понимают «материальный, чувственно воспринимаемый предмет (явление или действие), выступающий в процессе познания и общения в качестве представителя (заместителя) другого предмета или явления и используемый для приема, хранения, преобразования и передачи информации об этом замещенном предмете или явлении» [16, с. 39].

Быть знаком – это не естественное свойство какого-либо предмета, а функциональное: «... *знак есть то, что имеет значение*. ... Значение есть единица сознания. ... Значение – это обобщение, обобщенное отражение действительности» [45, с. 228] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Выполняя представительную функцию, знак вступает в двойное отношение: к объекту, который он замещает, и к субъекту, по отношению к которому он является средством косвенного приобретения знаний о представленном объекте. Это двойственное отношение позволяет выделить в знаке две его стороны: *материальную форму и значение* [там же, с. 3]. Следовательно, материальная структура знака имеет значение и вместе с ним составляет знак.

Важнейшей особенностью знаков является воплощение в них единства *коммуникативной, познавательной и экспрессивной функций*. *Познавательная функция* связана с *обобщающим характером знаков* (опираясь на знаки, субъект выделяет *внутренние, существенные связи* явлений действительности), а также с их «орудийным» употреблением (использование знаков в рамках естественного и искусственного языка служит средством развития знания). *Коммуникативная функция* реализуется за счет того, что предметное значение языкового знака является более или менее единым для всех людей, владеющих данным языком. *Экспрессивная функция* обеспечивается тем, что знаки выражают не только ***мысленное содержание***, но и ***чувства, побуждения человека***, употребляющего знак [30].

В теории познания всякое *значение* интерпретируется как субъективный образ объективной действительности. Познавательный образ понимается как любой элемент знания, несущий содержательную информацию о некотором классе объектов.

Образы подразделяются: на чувственные и концептуальные (понятийные). Первые отражают свойства предметов действительности, непосредственно воздействующих на **органы чувств** человека, вторые – наиболее общие и существенные связи и отношения объективного мира, раскрываемые *средствами абстрактного (рационального) мышления*.

В настоящее время *проблема формирования образа* в психологии становится центральной. По выражению Р. Хольта, «образы возвращаются из изгнания». Это приводит к необходимости пересмотра роли и функций, отводимых в теории обучения *чувственному познанию*, разработки и внедрения в практику обучения методов его организации. В процессе изучения объектов и явлений природы в педагогической деятельности должно быть заострено внимание на том, что *образы должны с самого начала формироваться правильно*, без искажения отражаемой действительности. В противном случае ломка сложившегося образа оказывается большинству школьников и даже студентов не под силу. В этой связи В.Ф. Венда подчеркивает, что создание образа происходит по типу целенаправленного процесса, для возникновения которого перед перерабатывающим информацию *необходима постановка задачи, решение которой требует его формирования*. Настоящее эвристическое познавательное значение знаков начинается тогда, когда *между единичными знаками устанавливается связь*, в результате чего образуются так называемые *системные или комплексные знаки*.

Специфику модели как средства познания очень образно и в то же время точно подметил В.А. Штофф, говоря о том, что через пропасть между эмпирическим и формальным уровнями «переброшен мост» в виде модели. Модель, по его мнению, связывает теоретические и эмпирические знания об объекте

исследования и поэтому наиболее полно отражает его сущность [131]. Обобщая результаты исследований в области моделирования, Н.М. Певин и Р.Д. Певина дают следующую характеристику знаковой модели: «... знаковая модель, имеющая прототип в окружающем лице, представляет собой систему, включенную в познавательную деятельность ученика и содержащую следующие элементы с их контекстами: материальная форма знака; смысловое значение знака; фрагменты реальной действительности, свойства которых отражены в изучаемом понятии. Под контекстами понимаются всевозможные связи и отношения между знаковой формой и другими знаками системы, условиями их применения, эмоциями, которые они вызывают у ученика, подготовленностью последнего к ее восприятию, его умственными способностями и так далее» [61].

В истории педагогики *чувственное познание* рассматривалось в связи с обоснованием принципа наглядности. Поэтому, и в настоящее время, считают, что основное *предназначение чувственного образа* в познавательной деятельности ученика состоит **в иллюстрации изучаемых понятий**. Данное положение является основанием для разработки таких моделей, в которых отражена не только *эволюция форм природных объектов (образов)*, но и параллельно *эволюция понятий*, в которых заключена сущность этих образов. Такой методологический прием позволит относительно быстро перейти *от образного мышления к понятийному виду мышления* как фундаменту *рационального познания*.

Образно-знаковые модели позволяют обобщить и выявить сущность того или иного класса объектов и явлений в чистом виде. Однако это не является самоцелью, а служит лишь основой для применения этих общих знаний на практике. Отсюда следует, что *в процессе познания теоретический и эмпирический уровни*

должны постоянно взаимодействовать, чтобы решать двуединую задачу: выявить существенные связи исследуемых объектов и явлений и использовать эти знания применительно к реальным объектам, с целью управления ими в данный момент и прогнозирования путей их развития в будущем. В противном случае, знания обучающихся останавливаются на модели, остаются формальными и они не смогут их применять на практике.

Учитывая вышесказанное, нами предпринята попытка создания образно-знаковой модели *высокого уровня интеграции* под названием «Эволюция форм в неживой и живой природе», в которой отражены основные формы движения материи (уровни организации) и их эволюция в процессе развития природы на примере растительного организма (рис. 1).

Особенностью данной модели является и то, что в ней **сопряжены** символы в виде образов и знаков (*форм*) с терминами (*понятиями*), которые в сжатом виде закрепляют сущность (*содержание*) этих форм. Сочетание таких принципов, которые положены в основу предлагаемой модели помогает школьникам и студентам относительно быстро и эффективно осуществить логический переход от наглядно-образного к обобщенно-образному, а от него к понятийному виду мышления. При создании данной модели использованы не только известные теоретические положения, но и многолетний практический опыт работы автора со школьниками и студентами. Практика показывает, что не только школьники, но и даже студенты очень часто затрудняются выделить основные элементы при изучении той или иной природной структуры (*формы*), не говоря уже о создании ими интегративной образно-знаковой модели, отражающей структурную или функциональную взаимосвязь различных форм движения материи, изучаемых в курсах физики, химии и биологии.

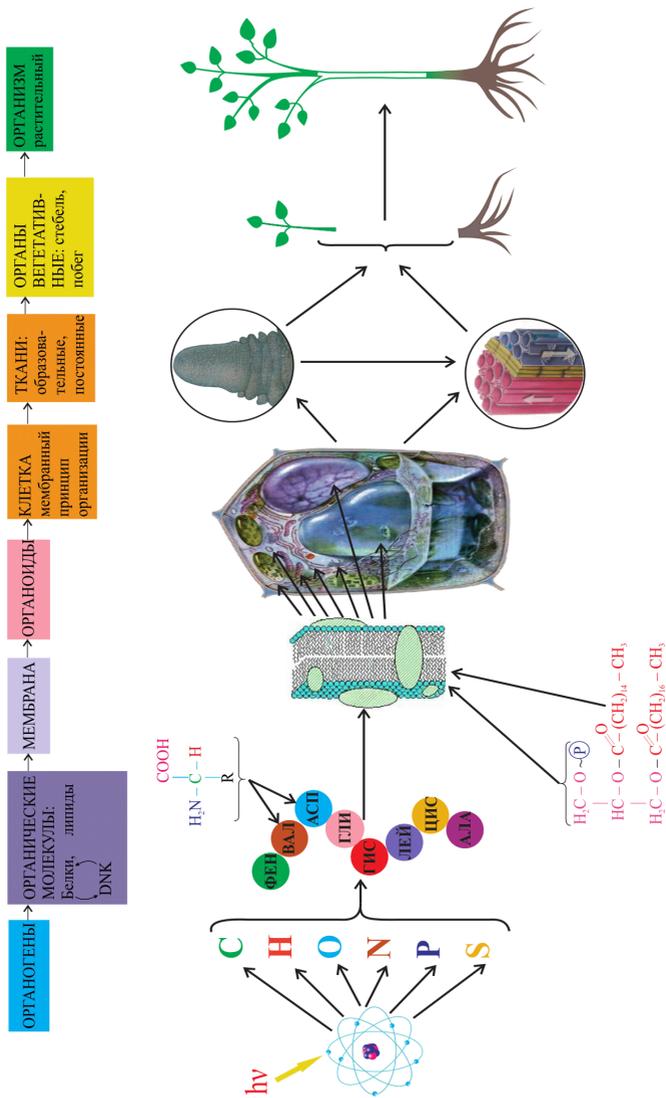


Рис. 1. Значение растений в природе и жизни человека

Важнейшими недочетами в подготовке школьников и студентов являются такие как: неумение использовать сущность электронной теории вещества для объяснения свойств атомов – органоенов, а также для объяснения сущности физиолого-биохимических процессов (**фотосинтеза, дыхания** и др.), которые лежат в основе строения и функционирования биологической формы движения материи; незнание общих принципов организации органических молекул, и прежде всего биополимеров – белков и нуклеиновых кислот, а также липидов, углеводов и органических кислот; затруднения, связанные с определением основных структур большинства органелл клетки, которыми являются биологические мембраны, и, как следствие, незнание общего биологического принципа организации клетки – мембранного. Очень часто школьники и студенты не могут выделить самые большие группы тканей. Они путают в отношении этих структур родовые и видовые понятия. Так, например, они относят к одному рангу образовательные (меристемы) и постоянные ткани, которые являются главными группами тканей у растений, и покровные, проводящие, – которые являются разновидностью постоянных тканей. К сожалению, приходится констатировать, что даже на уровне растения не только школьники, но и студенты зачастую делают ошибки при выделении основных вегетативных органов растения, относя лист к главным органам растительного организма.

Наличие такой негативной ситуации в естественнонаучном образовании детерминировано тем, что при изучении природных объектов в курсах физики, химии и биологии между ними не устанавливаются логические мостики в виде *образных моделей высокого уровня интеграции*. Отсутствие таких моделей не позволяет установить первые ассоциативные связи

в мозге обучающихся между изучаемыми структурами на уровне образов (*форм*), которые в дальнейшем должны быть основой для установления более глубоких абстрактных связей на уровне понятий (*содержания*).

Приведенные краткие теоретические выкладки позволяют констатировать, что современный уровень развития философии, психологии, педагогики, методики, а также естественных дисциплин позволяет вооружить каждого человека целым арсеналом *универсальных методов* и средств познания объектов и явлений в любой сфере деятельности, в том числе и в сфере образования. Вместе с тем практика показывает, что востребованность научных методологий в нашем обществе все еще остается крайне низкой. Одна из причин данного явления, по-видимому, кроется в том, что даже в образовании, которое является проекцией науки, научные методологии не находят широкого применения не только *в школе, но и в вузе*. Подтверждением этому являются исследования как современных психологов, так и методистов. Так, по мнению Л.М. Фридмана, «содержанием обучения в вузе является вчерашний день развития соответствующих наук, т.е. уже известные, устоявшиеся положения, факты и теории этих наук» [122, с. 121]. В то время как «в высшем образовании должны получить приоритет методологические основы содержания обучения, овладение студентами основными познавательными средствами, методами и приемами изучаемых наук с тем, чтобы создать необходимую базу для непрерывного самообразования и самосовершенствования. И лишь на базе методологических основ в учебных предметах вуза должно изучаться все остальное содержание обучения как конкретизация и реализация этих основ» [там же].

Разделяет это мнение и академик РАО А.В. Усова, которая подчеркивает, что зачастую кафедры преподают, а студенты изучают каждую дисциплину фактически *автономно*. Преобладает чисто «предметное», информационное, а не методологическое образование, *элементарный, а не системный подход к обучению профессиональной деятельности*. «В преподавании всех предметов важным методологическим компонентом является *ознакомление студентов с методами общенаучного познания* и спецификой методов исследования, применяемых в изучаемой науке: построением гипотез, проектированием моделей, наблюдением, экспериментом, систематизацией и обобщением» [108, с. 70].

Среди общенаучных методов познания особое значение в развитии рационального познания имеет *метод моделирования*. «Он обладает огромной эвристической силой, ибо с его помощью удается свести изучение сложного к простому, невидимого и неосязаемого к видимому и осязаемому, незнакомого к знакомому, т.е. сделать любой, какой угодно сложный объект доступным для тщательного и всестороннего изучения» [121, с. 89].

Модель в определенной степени *сопрягает* в себе элементы *формы* и *содержания* изучаемого объекта и делает сущность наглядной. При моделировании реализуется методологическая сущность такой сопряженной диалектической пары категорий, как «форма и содержание», которая позволяет развивать *рациональное мышление* по принципу перехода от чувственного восприятия к мысленному созерцанию а от него к рациональному познанию.

## 1.6. ВЕЩЕСТВО, ЭНЕРГИЯ И ИНФОРМАЦИЯ КАК ФАКТОРЫ СОПРЯЖЕНИЯ МЕЖДУ ОРГАНИЗМОМ И СРЕДОЙ ЕГО ОБИТАНИЯ

В рамках современного учения о материи происходит все более глубокое переосмысление исходных принципов ее организации и функционирования. Это обусловлено теми фундаментальными открытиями естественных наук в области микромира, которые позволили выйти на новый уровень понимания материального мира. Особое значение в этом аспекте имеют исследования *внутренних сторон взаимодействия*, которые отражают взаимные превращения и переходы, взаимную обусловленность и взаимную связь объектов и явлений природы. Учитывая актуальность данного направления исследования, в предыдущих работах нами дано философское и естественнонаучное обоснование сущности *сопряжения* как одной из внутренних сторон *взаимодействия*, которая позволяет глубже понять организацию и функционирование биологической формы движения материи, так и ее взаимосвязь с физической и химической формами движения материи. Сопряжение как естественнонаучный принцип выделен нами на основе содержательного анализа фундаментальных дисциплин, что позволило присвоить понятию «сопряжение» статус естественнонаучной категории познания неживой и живой природы.

Природа широко использует сопряжение как один из принципов эволюции. Особенно важен этот принцип при возникновении новой формы движения материи, у которой возникает абсолютно новое качество. Результаты нашего исследования свидетельствуют, что понятие «сопряжение» используется достаточно широко в естествознании в целом, и в частности

в области физики, химии, биохимии и биологии: «сопряженные точки», «сопряженные системы  $\pi$ -электронов», «сопряженные окислительно-восстановительные реакции», «энергетическое сопряжение», «сопрягающий фактор», «сопрягающие мембраны», «сопрягающие органеллы», «сопряженная коэволюция» и т.д. Однако во всех этих частных применениях (значениях) этого понятия оно не несет методологической нагрузки. Только после философского осмысления содержания понятия «сопряжение», как важнейшей внутренней стороны взаимодействия и возведения его в ранг естественнонаучной категории познания неживой и живой природы, оно становится мощным методологическим средством умственной деятельности школьников, студентов и преподавателей.

Сопряжение как *внутренняя сторона взаимодействия* сыграло и играет важнейшую роль в эволюции материи, в том числе и в возникновении и эволюции биологической формы движения материи, которая возникла на основе физической и химической форм движения. Доказательством этого положения является высказывание видных ученых, которые подчеркивают, что «в процессе химической эволюции при наличии всех необходимых для нее условий происходит усиление роли сопряженности. Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона **организации** динамических неравновесных систем» [118, с. 165] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Остается только добавить, что к таким динамическим неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой. Таким образом, повышение уровня организации систем в процессе эволюции материи обусловлено *увеличением сопряженности между ее элементами*.

Сама теория эволюции сегодня и обосновывается, и обогащается в двух противоположных направлениях: 1) по линии «перевода» ее основных понятий и законов на язык физики и химии и доказательства полной совместимости «дарвиновской эволюции» с известными физико-химическими законами (работы Н. Пригожина, М. Эйгена, А.П. Руденко, С.Э. Шноля и др.); 2) по линии все более органического и глубокого «привития» к современным эволюционным представлениям идей целостности, системности, организованности живого, столь плодотворно начатое русской морфологической школой А.Н. Северцева – И.И. Шмальгаузена [118]. Второе направление дает основание для утверждения, что новые, диалектически обоснованные философские и естественнонаучные *идеи, принципы и категории* позволят выявить стратегию более глубоких механизмов, лежащих в основе эволюции живого. Материалы наших исследований вносят определенный вклад не только в развитие каждого из этих направлений, но и более глубокого понимания их взаимосвязи. Ключевую роль в понимании таких механизмов призвана сыграть *категория сопряжения*.

В истории биологической науки довольно долго *организм и среда* противопоставлялись друг другу. Этому способствовала, в частности, и концепция «сверхорганизма» Ф. Клементса, согласно которой биоценоз есть своего рода сверхорганизм. Из этого положения неизбежно следовало противопоставление биоценоза биотопу так же, как организма окружающей его неживой среде. По-видимому, эта точка зрения сказалась и на содержании определения понятия «коэволюция» (от лат. *со* – с, вместе и *эволюция*), которая в биологическом словаре трактуется как «эволюционные взаимодействия организмов разных видов, не обменивающихся генетической информацией, но тесно

связанных биологически. *В процессе коэволюции складываются такие отношения, при которых виды-партнеры становятся в определенном смысле взаимно необходимыми. Результатом коэволюции являются взаимные адаптации (коадаптации) двух видов, обеспечивающие возможность их совместного существования и повышение устойчивости биоценоза как целостной системы» [7, с. 290].*

Невозможность отделения организмов от непосредственно окружающей их среды, вместе с которой они образуют одну систему, была постулирована А. Тэнсли в его концепции *экосистемы*, которая сейчас является основополагающей в экологии. Отсюда следует, что понятие «коэволюция» может быть применено не только к определенным видам организмов (в узком смысле), но и к системе *организм – среда*. Понимание *сопряжения как важнейшей стороны взаимодействия*, а, следовательно, и как общего принципа организации и эволюции материи позволяет вскрыть глубинные механизмы (на философском уровне) коэволюции организмов нашей планеты и среды их обитания.

Появление и эволюция живых организмов связаны с изменениями физико-химических условий на поверхности Земли. В свою очередь, жизнедеятельность самих организмов оказывала и оказывает сильнейшее влияние на окружающую среду. Таким образом, система организмы – среда (т.е. биосфера) развивалась как *единое целое*.

Согласно современному определению жизни для любой биологической системы характерны три явления: открытость, саморегуляция, самовоспроизведение, которые в своей совокупности обеспечивают жизнь. Ключевую роль во взаимодействии живых организмов с окружающей средой играет явление

*открытости*. Потребляя в процессах своего функционирования и развития из окружающей среды *вещество, энергию и информацию*, живые организмы упорядочивают материю, переводят ее из менее организованного состояния в более организованное состояние. Такая же работа *самоорганизации* осуществляется и на всех других уровнях живого – *от молекулы и клетки до биосферы в целом*. Биологическая *организованность* проявляется и в повсеместном распространении в мире живого правильных, пространственно упорядоченных структур и конфигураций, и во временной согласованности химических реакций, обменных процессов, схем поведения организмов, взаимодействий между видами и популяциями, и, наконец, между организмами и средой их обитания. Организованность, по мнению В.И. Вернадского, является одной из фундаментальных характеристик живого [11]. Важнейшим принципом организации любой живой системы, по-видимому, можно считать *принцип сопряжения*. Суть этого принципа можно лаконично выразить следующим образом: две отдельные системы могут *сопрягаться* (взаимосвязываться) и образовывать *качественно новую систему*, если они подходят друг к другу, как *ключ к замку*.

Биологическая эволюция путем естественного отбора оставляет лишь те живые системы, которые *сопряжены* со средой их обитания и, обуславливая друг друга, составляют единое целое. Результатом такого сопряжения является *повышение уровня организации новой системы*, в рамках которой повышается *относительная адаптация организмов к внешним условиям и относительная стабильность параметров среды*. А чем более жизнеспособен организм, тем у него большая вероятность оставить жизнеспособное потомство, в котором

свойства, обеспечивающие возрастание жизнеспособности, будут закреплены уже генетически. Возникновение земной жизни явилось закономерным результатом предшествующей эволюции нашей планеты.

Согласно теории биопоэза Дж. Бернала результатом химической (предбиологической) эволюции явилось образование органических соединений и, прежде всего, биополимеров – белков и нуклеиновых кислот, которые могли образовывать системы с обратной связью. Включение данных молекул в мембранные «пузырьки» обеспечило их взаимодействие (сопряжение), приведшее к появлению первых живых организмов – пробионтов. Мембраны не только сохраняют случайно возникшие ассоциаты белков и нуклеиновых кислот, но и обеспечивают *веществами, энергией и информацией* из окружающей среды образовавшиеся системы с обратной связью. Поэтому их по праву можно назвать *«сопрягающими»*, так как они обеспечивают взаимодействие между физико-химическими процессами, протекающими внутри организма (внутренним обменом веществ) и факторами внешней среды (внешним обменом веществ).

Дальнейшая стратегия эволюции системы *организм–среда* заключалась в постоянном адекватном изменении (движении) обоих компонентов. Важнейшую роль в этих изменениях играет специфика того или иного *внутреннего обмена веществ* у организмов, которая во многом обусловлена внешними *условиями среды обитания*. Такую взаимосвязанную эволюцию типов обмена веществ и среды обитания, по-видимому, можно назвать *«сопряженной эволюцией»*.

Представление о биологической системе любого уровня организации как об открытой системе, постоянно получающей из среды и выдающей в среду потоки *вещества, энергии и информации*,

чрезвычайно важно при изучении экологии. Изучение взаимодействий (*механизмов сопряжения*) между организмом и его окружающей средой, между живыми и неживыми компонентами экологической системы является одной из важнейших задач и экологической науки, и экологического образования. На уровне биогеоценоза эти взаимодействия чрезвычайно разнообразны. Несмотря на сложность и многообразие связей, биогеоценоз представляет собой единое функциональное целое благодаря потокам информации, связывающим все части этой экологической системы и регулирующим ее функционирование. Носителями информации могут выступать все известные для биологических объектов каналы связи: химические, оптические механические колебания среды, электромагнитные волны. Таким образом, *информационные потоки* внутри биотического сообщества, а также между организмами и компонентами абиотической среды теснейшим образом связаны с *вещественно-энергетическими потоками* и вместе с ними играют главную организующую роль в экологической системе [7]. Следует заметить, что взаимодействие между указанными выше потоками имеет место уже на уровне элементарной живой системы. Об этом свидетельствует высказывание А.О. Рувинского с соавтор. в школьном учебнике Общей биологии: «...на клеточном уровне сопрягаются передача информации и превращение вещества и энергии» [57, с. 5] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Взаимодействие живых организмов и среды можно рассматривать в следующих аспектах: молекулярном (физико-химическом), биолого-географическом и социальном. Из них физико-химический аспект является фундаментальным, и от уровня его понимания зависит и познание других типов взаимодействия в системе организм – среда. Следовательно, при изучении биогеоценоза как единого целого получает наглядное

подтверждение фундаментальное положение материалистической диалектики о взаимодействии и взаимообусловленности всех явлений природы.

Понимание сущности *сопряжения* как одного из *внутренних принципов взаимодействия* между организмом и средой позволяет раскрыть механизмы адаптаций, которые являются одним из важнейших свойств жизни вообще, так как обеспечивают самую возможность ее существования, возможность организмов существовать и размножаться. Адаптации проявляются на разных уровнях: от биохимии клеток и поведения отдельных организмов до строения и функционирования сообществ и экологических систем. Они возникают и изменяются в ходе эволюции видов.

Таким образом, понимание *сопряжения* как принципа организации и развития материи позволяет выявить один из механизмов взаимодействия организмов и среды их обитания, обеспечивающий их непрерывную коэволюцию и приводящий *к повышению уровня организации системы*. Факторами, *сопрягающими организм и среду*, являются разные *формы вещества, энергии и информации, которые являются для них общими*. Именно они связывают, *сопрягают* эти компоненты природы в единую систему, которая в процессе *сопряженной эволюции* повышает уровень своей организованности и устойчивости.

Усвоение понятия «сопряжение» как важнейшей категории, отражающей одну из стратегий коэволюции живых организмов и среды их обитания, внесет определенный вклад в *формирование нового экологического сознания школьников и студентов, которое станет основой для гармоничного сопряженного развития культуры и природы*. Фундаментальные естественнонаучные понятия «вещество», «энергия» и «информация» в силу огромной содержательной значимости и

внутреннего сопряжения между собой обладают высоким методологическим и мировоззренческим потенциалом познания объективной окружающей действительности. Они выступают связующим звеном между философскими категориями и общеприродными и экологическими понятиями, конкретизируют принципы диалектического материализма. Так понятие «вещество» конкретизирует категорию «материя», поскольку является видом материи; «энергия» представляет собой количественную меру и качественную характеристику всех форм движения материи. Понятие «информация» является количественной и качественной характеристикой отражения.

Таким образом, вещество, энергия и информация являются важнейшими факторами сопряжения в организации, функционировании и эволюции как отдельных живых систем и их взаимосвязи, а также их взаимодействии с окружающей средой. В понимании сущности такого взаимодействия важнейшую роль играет принцип сопряжения, который является одним из внутренних его механизмов, обеспечивающих новое качество у вновь возникшей системы. Проекция данного принципа в образовательную область позволяет рассматривать его как методологическую основу для создания единой иерархической системы философских, естественнонаучных и частнонаучных понятий, которая является основой для формирования диалектического стиля мышления и научного мировоззрения. Отсюда следует, что принцип *сопряжения* как исходное дидактическое положение выступает в двух аспектах – *методологическом* и *общедидактическом*. Категория сопряжения является мощным системообразующим фактором изучения всех **экологических** систем и важнейшим средством формирования экологического сознания у обучаемых.

## ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1. Современная система подготовки бакалавров должна быть ориентирована на методологизацию и фундаментализацию профессионального образования за счет повышения роли философских, физико-химических, общебиологических основ естественных наук, в том числе биологии, сконцентрированных в *категориях* и понятиях. Данные знания способствуют формированию компетенций студентов, поскольку позволяют унифицировать способы решения профессиональных задач.

2. Развитие диалектической логики означает дальнейшую разработку *категорий* материалистической диалектики, обогащение их содержания, выдвижение *новых понятий*, выступающих в роли *категорий* диалектики, установление связи между ними, построение системы, позволяющей в наиболее полном виде выражать их содержание и двигать научное знание вперед. Опираясь на это фундаментальное положение, нами дано философское обоснование сущности *сопряжения* как важнейшей стороны *взаимодействия*. Вместе с тем в работе представлено и естественнонаучное обоснование сущности *сопряжения* как фундаментального принципа организации и развития материи.

3. Проведенный теоретический анализ позволил выдвинуть положение о необходимости возведения понятия «сопряжение» в ранг диалектической (естественнонаучной) категории. Осмысление и понимание *сопряжения* как фундаментального принципа организации и развития материи дает возможность, по мнению автора, спроецировать его в образовательную область и рассматривать в качестве важнейшего методологического средства обучения.

4. Сопряжение как принцип внутреннего взаимодействия между структурными элементами материи, который приводит

к созданию качественно новой системы, спроецирован нами в образовательную область и использован как методологическая основа для конкретизации таких важнейших общенаучных методов познания, как системный и деятельностный подходы, положенные в основу разработки современных школьных и вузовских стандартов.

Методологическая значимость принципа сопряжения в этом аспекте заключается в том, что он одновременно конкретизирует и системный и деятельностный подходы. Первая часть этого принципа предписывает нахождение элементов у зарождающейся системы, вторая, деятельностная сторона, выявляет сопряженную (общую) область между структурными элементами, механизм взаимодействия между ними, который обуславливает выявление нового качества у изучаемой системы. В процессе познавательной деятельности школьников и студентов принцип *сопряжения* как исходное дидактическое положение выступает в двух аспектах – *методологическом и общедидактическом*.

5. Категория «сопряжение» не только отражает один из механизмов организации и эволюции материи, но также является фундаментальным образовательным объектом, поскольку благодаря глубинному смыслу принадлежат как реальному, так и идеальному миру. Усвоение методологического потенциала категории сопряжения позволяет раскрыть один из внутренних механизмов не только системно-деятельностного подхода, но и механизм становления таких личностных характеристик выпускника школы и вуза, как *самоопределение, самоорганизация и самоутверждение*, которые тесно *сопряжены* между собой. В свою очередь системно-деятельностный и личностный подходы также тесно сопряжены и определяют сущность компетентностного подхода в целом, который является общей стратегией формирования профессиональных качеств будущего учителя.

6. Осмысление и понимание сущности *сопряжения* как важнейшей стороны *взаимодействия* дает основание для предположения, что данная категория может быть обоснована и как важнейший *дидактический принцип обучения и воспитания*. Дидактические принципы, как правило, являются проекцией общих законов природы и тех философских категорий, через которые они выражаются. Педагогическая действительность свидетельствует, что такие дидактические *принципы*, как преемственность, системность, принцип развивающего обучения и др., выведены из философских законов и категорий, которые вскрывают наиболее общие тенденции развития явлений объективного мира, и одновременно являются правилами и формами человеческого познания, мышления.

7. Являясь главным компонентом развития, сопряжение и проявляется как развитие, выступает внутренним механизмом, обуславливающим *интегральность, целостность, направленность процессов развития любой системы и по существу регулирует развитие учебного познания*. Огромная важность принципа сопряжения в познании материального мира инициировала наше исследование методологической значимости категории сопряжения в образовательной области и ее статуса в учебно-воспитательном процессе студентов вуза.

8. Усвоение понятия «сопряжение» как важнейшей категории, отражающей одну из внутренних сторон взаимодействия, позволяет понять конкретный механизм организации, функционирования и эволюции биологической формы движения материи. Такое осмысление внесет определенный вклад в *формирование нового экологического мышления, сознания школьников и студентов, которое станет в их профессиональной деятельности основой для реализации стратегии коэволюции – взаимообусловленного, сопряженного, гармоничного развития системы «природа – жизнь – общество»*.

## **ГЛАВА 2. СОПРЯЖЕНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ «ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» У ШКОЛЬНИКОВ И СТУДЕНТОВ ВУЗА**

### **2.1. ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ПОНЯТИЙ «ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» У ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИИ**

#### ***2.1.1. Методологическая роль фундаментальных естественнонаучных понятий «вещество» и «энергия» при изучении фотосинтеза и дыхания в разделе «растения»***

При изучении биологической формы движения материи в курсе биологии особое внимание уделяется формированию понятий «вещество» и «энергия». Это обусловлено тем, что в основе обмена веществ биологических систем разного уровня организации с окружающей их средой лежат физические и химические явления, обуславливающие превращения вещества и энергии. Поэтому и содержание понятия обмена веществ раскрывается через понятия «вещество» и «энергия», что четко отражено в одном из его определений: **«Обмен веществ** (метаболизм – от греч. metabole – перемена) – 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» [88, с. 905]. В свою очередь обмен веществ, по мнению Ф. Энгельса, является главным функциональным критерием всего живого [134].

Почему при изучении курса биологии понятиям «вещество» и «энергия» необходимо уделять особое внимание? Ответ на этот вопрос можно найти в трудах выдающегося физиолога прошлого столетия К.А. Тимирязева. В цикле лекций «Исторический метод в биологии» он писал: «Все объективные проявления жизни сводятся к трем категориям явлений: это или превращение вещества, или превращение энергии, или, наконец, превращение формы» [95, с. 389]. Современная наука добавляет и четвертую категорию – эволюционное накопление, хранение, передачу и преобразование наследственной информации.

Великий ученый не случайно отводил в жизненных явлениях первое место превращению вещества и энергии. Именно они позволяют живым организмам быть открытыми системами, не только поддерживать, но и увеличивать степень их организации, то есть противостоять повышению энтропии. Благодаря этому живые системы приобретают ряд новых качеств и свойств, которые принципиально отличают их от неживых. Живое состояние – это, в первую очередь, не структура, а процесс. Структуры живого нестабильны, они постоянно разрушаются и строятся заново, а это возможно благодаря превращениям вещества и энергии.

По мнению корифеев методики биологии Н.М. Верзилина и В.М. Корсунской, «Важнейшее понятие об обмене веществ,

связанном с жизненными функциями и условиями жизни, требует особого внимания» [10 с. 90]. Научному формированию и планомерному развитию понятия об обмене веществ мешает «отсутствие должного внимания обмену внутриклеточному, внутритканевому и превращениям энергии» [там же, с. 93].

На молекулярном уровне понятие «обмен веществ» рассматривается в школьном курсе общей биологии при изучении строения и функции клеток. Обмен веществ и превращения их энергии раскрывает биохимические функции клетки и разделение их между частями клетки соответственно ее морфологическому расчленению. Явление жизни, впервые возникшее на уровне клетки, обеспечивается разнообразными сопряженными превращениями вещества, энергии и информации, протекающими в ее взаимосвязанных структурах. Это дает основание называть клетку элементарной сопряженной системой, на уровне которой возникает биологическая форма движения материи.

Таким образом, являясь важнейшими для всего естествознания, понятия «вещество» и «энергия» выполняют, прежде всего, *методологическую функцию* при формировании такого фундаментального понятия курса биологии, как «обмен веществ». В свою очередь ключевое общебиологическое понятие «обмен веществ» также выполняет методологическую функцию и во многом предопределяет стратегию формирования таких важнейших общебиологических понятий, как анаболизм, катаболизм, *фотосинтез, дыхание*, биологическое окисление и др. Вполне естественно, что от понимания сущности этих понятий, их логической взаимосвязи будет зависеть глубина и верность сформированности итогового понятия – «обмен веществ».

Анализ содержания наиболее используемых учебников общей биологии в школьной практике позволяет утверждать,

что при интерпретации таких основополагающих понятий, как «обмен веществ», «метаболизм», «ассимиляция», «анаболизм», «диссимиляция», «катаболизм» авторами допускаются как неточности, так и существенные ошибки. Наиболее ярко они высвечиваются при формировании понятия «катаболизм» [28; 42; 56; 57]. Одна из причин этого, по-видимому, кроется в том, что даже в таком фундаментальном справочном словаре, как «Большой советский энциклопедический словарь» в расшифровке данного понятия допускаются существенные огрехи. Для подтверждения данного тезиса проанализируем определение катаболизма, приведенное в этом словаре: «**Катаболизм** (от греч. *katabole* – сбрасывание, разрушение) (диссимиляция) – совокупность протекающих в живом организме ферментативных реакций расщепления сложных органических веществ (в т.ч. пищевых). В процессе катаболизма происходит освобождение энергии, заключенной в химических связях крупных органических молекул, и запасание ее в форме богатых энергией фосфатных связей АТФ. Катаболические процессы – клеточное дыхание, гликолиз, брожение. Основные конечные продукты катаболизма – вода,  $\text{CO}_2$  и  $\text{NH}_3$ , мочевины, молочная кислота» [88, с. 556]. Первая часть определения констатирует, что лежит в основе данного процесса (совокупность ферментативных реакций), и к ней нет никаких замечаний. Вторая показывает роль этого процесса (его значимость) и сводит его только к освобождению энергии и запасанию ее в форме АТФ, но при этом опускаются многочисленные промежуточные метаболиты данного процесса, которые используются как строительные блоки для всех соединений клетки: белков, нуклеиновых кислот, липидов, полисахаридов и т.д.

Данная ошибка переносится в школьные учебники. Так, например, в учебнике общей биологии под ред. В.Б. Захарова рассматриваемому понятию дается следующее определение: «Процессом, противоположным синтезу, является диссимиляция – совокупность реакций расщепления. При расщеплении высокомолекулярных соединений выделяется энергия, необходимая для реакций биосинтеза. Поэтому диссимиляцию называют еще энергетическим обменом клетки или катаболизмом...» [55, с. 123].

Попутно следует отметить, что помимо перенесенной ошибки (относительно промежуточных метаболитов), авторы учебника допустили новые, поставив знак абсолютного равенства между понятиями диссимиляции, катаболизма и энергетического обмена.

Понятие «катаболизм» как одно из фундаментальных биологических понятий выполняет методологическую функцию в определении содержания понятий, лежащих в его основе, и, в первую очередь, такого как «дыхание». Широко известный постулат – без дыхания нет жизни – говорит о многом. Дыхание (в широком смысле этого слова) присуще всем организмам на Земле, и от понимания сущности этого процесса зависит во многом целостное понимание организации и функционирования живой материи на молекулярном уровне.

Вполне естественно, что ошибка, имеющая место в определении понятия «катаболизм», была перенесена и на понятие «дыхание». Доказательством этому может служить определение дыхания в том же словаре: «Дыхание – совокупность процессов, обеспечивающих поступление в организм кислорода и удаление углекислого газа (внешнее дыхание), а также использование кислорода клетками и тканями для окисления органических веществ с освобождением энергии, необходимой для их

жизнедеятельности (так называемое клеточное или тканевое дыхание)...» [88, с. 418]. Комментарий к данному определению, по-видимому, излишен. Данная ошибка имеет место и в учебнике «Общая биология» под общей редакцией А.О. Рувинского, который рекомендован для лицеев и гимназий [57], а также и учебники зарубежных авторов, которые зачастую адресованы одновременно преподавателям, студентам, учителям и школьникам. Это касается и весьма солидного учебника «Введение в биологию» (П. Кемп, К. Армс) [42]; широко известного трехтомника «Биология» (Н. Грин и др.) [92]. 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. Таким образом, приведенные факты и рассуждения позволяют заключить, что ошибки в толковании сущности понятий катаболизма, дыхания и др., имеющие место в справочной литературе, зачастую переносятся в школьные учебники, что оказывает негативное влияние на понимание физиологических функций живых организмов в целом.

Приведенные аргументы и логические рассуждения позволяют констатировать, что в основе таких фундаментальных биологических процессов, как обмен веществ (метаболизм), анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание и др. лежат явления превращения вещества и энергии, находящиеся между собой во взаимосвязи. 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 грубейшей методологической ошибкой, цена которой

непонимание большинством школьников (и даже студентов) сущности вышеназванных процессов, что, безусловно, негативно сказывается на формировании у них биологического мышления в целом.

Изучение школьного курса биологии, как известно, начинается с раздела «Растения» и это вполне логично, так как растительные организмы по своей сложности стоят на более низкой ступени организации по сравнению с животными, а тем более с человеком. В этом разделе дается не только разнообразный фактический материал, но и предпринимается попытка формирования базовых общебиологических понятий, таких как «обмен веществ», «анаболизм» (на примере фотосинтеза) и «катаболизм» (на примере дыхания) [60]. Сама стратегическая линия такого подхода верна, однако тактически она реализуется весьма неэффективно. Основная причина тому – отсутствие у школьников базовых физических и химических понятий, прежде всего таких, как «вещество» и «энергия». Отсутствие должного научного наполнения содержанием этих понятий, которое возлагается, прежде всего, на курсы физики и химии (а они изучаются позже), приводит к тому, что понимание и интерпретация этих понятий перед изучением раздела «Растения» находится, если можно так выразиться, на полубытовом уровне. Вполне естественно, что на том же уровне нарабатываются понятия о фотосинтезе и дыхании, фундаментом которых являются понятия «вещество» и «энергия».

Об актуальности данной проблемы и неотложности ее решения свидетельствуют высказывания видных отечественных ученых. Так, в предисловии к трехтомному английскому изданию «Биология» (Н. Грин и др.) известные ученые Б.М. Медников и А.А. Нейфх отмечают: «Ни для кого не секрет (кроме

Академии Педагогических Наук), что преподавание биологии в наших школах ведется из рук вон плохо. Одна из причин этого – растянутый на ряд лет курс, начинающийся с предельно адаптированной для младших школьников ботаники и заканчивающийся общей биологией, которую обучающиеся «проходят» (удивительно уместный термин!), основательно забыв все остальное. Такое положение уже становится нетерпимым» [20, с. 5]. Анализируя опыт зарубежных школ по модернизации биологического образования, эти же ученые продолжают: «Эту простую истину уже поняли за рубежом: как правило, биологию там преподают в старших классах, в течение не более чем двух-трех лет, цельным курсом и одновременно с органической химией. В сочетании с хорошо разработанным практикумом это дает неплохие результаты: человек со средним образованием в США или Англии имеет познания в биологии, сравнимые с таковыми у наших студентов 1–2 курсов» [20, с. 5]. Перестройка курса биологии, по мнению другого крупного исследователя в области методики физики А.В. Усовой, приводит к необходимости перестройки содержания и структуры курсов физики и химии, а также изменения их места в учебном плане [114].

В настоящее время необходимо создать, на наш взгляд образовательную систему, которая отражала бы естественный ход развития материи вообще, в результате которого физическая форма движения материи породила бы химическую, а она, в свою очередь, – биологическую, в то время как существующие образовательные системы (концепции) в области биологии в той или иной мере являются «искусственными» [72; 74].

Реализация данной идеи становится особенно актуальной в современный период развития общества, так как решение

многих насущных проблем в области естествознания требует интеграции знаний естественных курсов, изучаемых в школе. Прогнозируя подобную тенденцию, ряд исследователей проводили многолетнюю работу по внедрению концепции естественнонаучного образования, основанной на опережающем изучении курса физики (в 5 классе), разработанной профессором А.В. Усовой [110; 114]. Концепция поддержана грантом Министерства образования РФ и апробирована в школах г. Челябинска и области, а также за ее пределами. Проведенный педагогический эксперимент дал положительный результат, и работа в этом направлении продолжается. Реализация данной концепции в школьной практике убедительно свидетельствует, что усвоение обучающимися фундаментальных естественнонаучных понятий, законов, теорий в 5–6 классах создает научный фундамент для изучения биологических систем разного уровня организации не только на эмпирическом уровне, но и на теоретическом. При этом усваивается не только понятийный аппарат курсов физики и химии (в том числе и понятий «вещество» и «энергия»), но и методы и приемы, которые позволяют добывать научные знания об объектах и явлениях окружающего мира. Важнейшим из них является функциональный подход, применение и усвоение которого в курсах физики и химии позволит эффективно его использовать и углубить при изучении физиологических функций, понимать их сущность и управлять ими в практической деятельности.

Таким образом, приведенные факты и логические рассуждения позволяют констатировать, что в разделе «Растения» не закладываются, да и не могут быть заложены на должном (научном) уровне такие базовые общебиологические понятия, как «обмен веществ» («метаболизм») «анаболизм» и «катаболизм»,

«фотосинтез», «дыхание» и др., которые призваны определять стратегию изучения всех остальных разделов биологии. Без получения элементарных знаний о превращении вещества и энергии при изучении раздела «Растения» нельзя понять сущности физиологических процессов (прежде всего таких, как фотосинтез и дыхание), уловить взаимосвязь между ними, выявить механизмы воздействия на них экологических факторов. В свою очередь глубокое познание биологических процессов позволит управлять ростом и развитием растительных организмов и, в конечном итоге, их продуктивностью.

Кардинальное решение этой проблемы, как уже было отмечено выше, требует коренного пересмотра школьных учебных планов и опережающего изучения курсов физики и химии. Однако от учителя не зависит стратегическое решение этого вопроса, а поэтому единственным путем в достижении этой цели в настоящее время является изменение тактики. Это значит, что при изучении раздела «Растения» учителю необходимо параллельно формировать физические и химические понятия, без которых невозможно заложить прочный фундамент для всего курса биологии. Для решения этой задачи авторами разработана программа для раздела «Растения», в которую введена пропедевтическая тема «Генетическая связь неживой и живой природы» [120, с. 20].

Она предусматривает закладку таких фундаментальных физических и химических понятий, как «атом», «молекула», «химическая реакция», «простое и сложное вещество», «органическое и неорганическое вещество», «фотон», «диффузия» и т.д., без которых невозможно понять сущность физиологических процессов даже в самом общем виде. Данная тема фактически закладывает методологическую основу для всего курса биологии.

Таким образом, «вещество» и «энергия» как фундаментальные естественнонаучные понятия выполняют исключительно важную методологическую функцию при изучении неживых и живых объектов материального мира. Целенаправленное их формирование и использование приводит к тому, что они становятся общими законами мышления школьников, обеспечивая более быстрыми темпами познание сущности изучаемых объектов и явлений, а также их взаимосвязи, формируя единую картину научного мировоззрения.

Вещество как вид материи и энергия как количественная мера всех форм движения материи тесно связаны между собой и с другими ее атрибутами. Поэтому учителю, закладывающему и развивающему данные понятия, необходимо иметь обобщенную модель (схему) иерархии и взаимосвязи между фундаментальными естественнонаучными (философскими) понятиями, являющимися отражением бытия.

### ***2.1.2. Учебник биологии как средство интеграции общебиологических естественнонаучных знаний***

На протяжении всей истории развития науки понимание *особенного* и *общего* при изучении объектов и явлений природы происходило благодаря двум диалектически связанным направлениям научного исследования: *дифференциации* и *интеграции*. На каждом этапе исторического развития науки превалировала то одна тенденция, то другая. На современном этапе научных исследований взаимодействие между дифференциацией и интеграцией вышло на новый уровень: оно характеризуется большей

*диалектичностью и гармоничностью.* Такое взаимодействие детерминирует параллельное развитие этих направлений при ведущей роли интеграции, что обеспечивает высокие темпы научно-технического прогресса.

Попытка перенести данную стратегию в сферу естественнонаучного образования, в том числе и биологического, не увенчалась успехом. Вся интеграция прежних биологических курсов ботаники, зоологии, анатомии человека и общей биологии свелась к тому, что они изучаются под общим названием «Биология», а бывшие предметы получили статус соответствующих разделов. Что касается содержания учебного материала, то оно не претерпело существенных изменений, а по некоторым темам его научность снизилась. Поэтому говорить об интеграции содержания учебного материала как биологического, так и естественнонаучного в курсе биологии вообще не приходится.

Недостатки, имеющие место в структуре и содержании учебников и учебных пособий по курсу биологии, имеют как объективные, так и субъективные причины. Объективные причины предопределены изъянами в структуре примерных учебных планов, которые являются составной частью примерной основной программы общего образования. Эти государственные документы, вопреки учению о генетической связи форм движения материи, до сих пор предусматривают начало изучения курса биологии перед курсами физики и химии. Это не позволяет изначально заложить прочный фундамент для изучения курса биологии на основе естественнонаучных понятий и тем самым интегрировать биологические знания в систему естественнонаучных.

Субъективные причины недостатков в структуре и содержании учебников и учебных пособий определяются консерватизмом авторов, которые пишут их по традиционным схемам: учебники и учебные пособия имеют, как правило, информативный характер, а их разделы слабо связаны между собой (кроме общего названия «Биология»). Существенным недостатком учебников по общей биологии является слабая физическая и химическая базы для понимания сущности превращения вещества и энергии при изучении метаболизма клеток, который является основой их жизнедеятельности.

При написании современных учебников необходимо учитывать принципиально новые цели, предусматривающие не только получение определенного уровня знаний, но и *освоение методов познания*, которые станут фундаментом для самообразования и самосовершенствования школьников. Отсюда следует, что учебники должны быть не только *информативными*, но и *обучающими* и *развивающими*. Авторам нужно не декларировать во введениях тезис о взаимосвязи всех разделов курса, а показывать эти взаимосвязи, например, в виде образно-знаковых моделей, которые должны отражать стратегические связи между объектами, процессами, явлениями, понятиями.

Методические пособия по курсу биологии также не раскрывают не только межпредметных, но и внутрипредметных связей на должном уровне. Схемы и модели, приводимые в них, имеют низкий уровень интеграции и не отражают сущностных связей, особенно функциональных. Следует отметить, что такая негативная тенденция характерна не только для школьного образования, но и для вузовского. В вузе она еще более обостряется в связи с большой многопредметностью курса биологии и узкой специализацией преподавателей.

Проблема подготовки школьных учебников на новых принципах поднимается самими авторами учебников и учебных пособий, ей посвящаются научные конференции. На одной из них известный методист-биолог Д.И. Трайтак отметил: «Содержание школьного образования должно быть скорректировано в соответствии с реалиями сегодняшнего дня, с современными достижениями науки. Ведь только на основе научных знаний можно сформировать у человека ноосферное мировоззрение, без которого уже в ближайшем будущем реальной станет угроза самому существованию человека на нашей планете. А формирование у учащихся творческого, критического мышления связано не столько с вопросом «чему учить?», сколько с вопросом «как учить?». Именно от методики организации учебного процесса зависит, будут ли ученики механически заучивать учебный материал или будет происходить его мысленное усвоение в творческой познавательной деятельности учащихся. И важную роль в этом процессе, несомненно, должен играть школьный учебник» [99, с. 75].

В качестве первого шага к решению этой проблемы можно считать недавно изданное пособие «Биология. Для поступающих в вузы: Структурированный курс», авторами которого являются А.И. Цибулевский и С.Г. Мамонтов [125]. Содержание этого пособия соответствует требованиям программ по биологии, утвержденных Министерством образования и науки Российской Федерации для общего образования и вступительных экзаменов.

Структурирование данного пособия осуществлено на основе взаимосвязей теоретических и общебиологических знаний (раздел «Общая биология»), которые наполняются конкретным содержанием при изучении различных царств живых организмов, изучаемых в курсе ботаники, зоологии, анатомии и физиологии человека.

Курс построен на основе ведущих принципов биологической науки: *историзм, эволюционизм, причинность, системность и многофункциональность*. Эти общетеоретические идеи пронизывают все разделы пособия, обеспечивая ему целостность.

Особая обучающая значимость данного пособия состоит в том, что в начале каждой его главы помещена схема: «Логическая структура главы». Такое *визуальное* выделение взаимосвязей между содержательными элементами знания имеет огромное как образовательное, так и воспитательное значение. Обсуждая проблему визуализации информации, И.Л. Садовская подчеркивает, что «...использование учителем и создание школьником схематических и знаковых моделей не только заменяют пространственные объяснения, но и выступают в качестве средства формирования у учащихся широких обобщений» [99, с. 77]. В качестве дополнительного приема, повышающего эффективность запоминания и визуализации информации, данный автор называет цветное кодирование текста учебника и иллюстративного материала, в нем содержащегося [там же].

Говоря о важности принципа взаимосвязи при формировании понятий, Я.А. Коменский подчеркивал, что находящееся во взаимосвязях должно и преподаваться в тех же связях [29, с. 287].

Современная дидактика также подтверждает, что успех обучения зависит от степени осмысления учеником связей между отдельными знаниями и их элементами. Подобное диалектическое понимание сущности процесса усвоения понятий обучающимися отражено в работе А.В. Усовой, где отмечается: «Сущность процесса усвоения понятий заключается в усвоении **содержания** понятия – существенных признаков объекта, который

отражается в сознании посредством понятия, а также в усвоении **объема** понятия, т.е. количества объектов, отражаемых в сознании посредством данного понятия, усвоении **связей и отношений** данного понятия с другими понятиями [113, с. 8].

Обобщенные схемы-модели выполняют важную методологическую функцию как минимум в двух аспектах. Во-первых, они изначально дают целостное представление о содержании материала той или иной главы, во-вторых, они указывают на иерархическую последовательность взаимосвязи всех ее структурных элементов (понятий), которые предстоит усвоить. Данные аспекты имеют большое значение как для педагога, так и для ученика. Это согласуется с мнением Т.А. Козловой, которая, анализируя пособие А.Ю. Цибулевского и С.Г. Мамонтова, отмечает: «Опираясь на схемы, учитель может осмыслить и успешно реализовать весь ход развития и формирования центральных понятий, входящих в содержание данной главы, а значит, наиболее продуктивно и целостно разработать соответствующую методику изучения темы.

Старшеклассник, имея перед собой как бы «столбовую дорогу» познавательной деятельности в виде ясной и понятной логической структуры, может проектировать дидактическую систему своей учебной работы» [32, с. 59].

Тенденция вводить в курсы интегрированные схемы взаимосвязи понятий проявляется иногда и в вузовских биологических курсах. Так, в частности, в курсе физиологии растений (автор В.В. Полевой) приведена обобщающая понятийная схема «Взаимосвязь метаболических процессов», отражающая сущность метаболизма растительной клетки в целом [65]. Она призвана выполнять методологическую функцию при формировании такого общебиологического понятия, как «обмен веществ».

Не умаляя достоинства обобщающих схем, интегрирующих понятия в пределах какого-либо раздела школьного курса биологии, можно констатировать, что они отражают в лучшем случае внутрисубъектные (и даже, если так можно сказать, внутрираздельные связи), в то время как для понимания общих принципов организации и функционирования живой и неживой природы необходимы, кроме того, и образно-знаковые модели самого высокого уровня интеграции, которые бы отражали эти принципы на уровне биологической формы движения и материи в целом.

Учебники и методические пособия призваны выполнять важную функцию раскрытия способов и дидактических средств реализации межпредметных связей и интеграции знаний обучающихся, однако практическое их воплощение целиком зависит от профессиональной подготовки учителя. Для этого современный учитель должен обладать одновременно качеством «инженера» (понимать общую стратегию формирования научного знания при изучении предметов естественнонаучного цикла) и в то же время быть хорошим «технологом», чтобы претворить эти идеи в процессе обучения. Многолетнее сотрудничество с учителями-биологами как в Челябинской области, так и за ее пределами показывает, что большинство из них к этому не подготовлены.

На этом акцентируют внимание и исследователи из других регионов. Так Э.Э. Волкова с соотр. отмечают, что целенаправленная подготовка (в объеме 118 ч.) учителей 15 школ из разных районов и городов Свердловской области к практическому осуществлению идей интеграции в процессе обучения школьников показала, что наибольшие затруднения учителя

испытывали при рассмотрении вопросов, касающихся изучения теоретических аспектов интеграции. Поэтому, отмечают эти авторы, необходимо «помочь учителям овладеть сущностью процесса интеграции знаний и подготовить их к практическому осуществлению этого процесса, к использованию междисциплинарных форм в обучении» [13, с. 52].

Из приведенных рассуждений и фактов следует, что проблема интеграции мепредметных и внутрипредметных знаний у обучающихся до сих пор остается весьма актуальной. Она носит комплексный характер, и ее решение требует координации на государственном, региональном, муниципальном и школьном уровнях. Для этого необходима такая общая концепция естественнонаучного образования, которая бы теоретически обосновала, увязала воедино все эти организационные уровни и одновременно определила конкретные пути и способы их реализации.

Должное внимание при разработке такой концепции следует уделить качеству подготовки учебников по биологии, где изучается самая высоко организованная форма движения материи – биологическая, которая впитала в себя своих генетических предшественников – физическую и химическую формы движения. Отсюда следует, что для понимания сущности живого необходимы не только фундаментальные физические и химические знания, но и те методологические подходы, которые были исторически наработаны в рамках физической и химической наук. Опора на эти знания и подходы при изучении курса биологии позволит доводить не только биологические, но и естественнонаучные знания до теоретического уровня.

### **2.1.3. Сопряжение как механизм реализации межпредметных связей физики, химии и биологии**

Философской предпосылкой постановки проблемы межпредметных связей является положение о необходимости раскрытия взаимосвязи различных явлений природы, общества и мышления, отражаемых современной наукой. «Соответственно тому, – пишет академик Б.М. Кедров, – как совершается все более полное и всестороннее раскрытие связей и переходов между различными формами движения в природе, происходит все более тесное и глубокое переплетение соответствующих естественных наук между собой, их взаимное проникновение. В результате такого их взаимопроникновения друг в друга обнаруживается не только диалектика самой природы, отражаемая современным естествознанием, но и диалектика процесса познания природы человеком, т.е. диалектика развития всего естествознания» [30, с. 288].

В результате интеграции наук происходит создание новых *методов* и *методологий* научного познания, характеризующихся комплексным применением знаний из областей различных наук. Являясь конкретизацией принципов диалектического материализма, универсальные подходы (методологии) за последние годы обновляются: так появились системно-структурный, системно-синергетический, функциональный, холономный и другие подходы, которые являются мощным орудием теоретического познания в различных областях науки и естествознания в целом.

В рамках современного учения о материи происходит все более глубокое переосмысление исходных принципов ее организации и функционирования. Это обусловлено теми

фундаментальными открытиями естественных наук в области микромира, которые позволили выйти на новый уровень понимания материального мира. Особое значение в этом аспекте имеют исследования *внутренних сторон взаимодействия*, которые отражают взаимные превращения и переходы, взаимную обусловленность и взаимную связь объектов и явлений природы. Учитывая актуальность данного направления исследования нами ранее дано философское и естественнонаучное обоснование сущности *сопряжения* как одной из внутренних сторон *взаимодействия*, которая позволяет глубже понять организацию и функционирование биологической формы движения материи, так и ее взаимосвязь с физической и химической формами движения материи [75; 104].

Сопряжение как *внутренняя сторона взаимодействия* сыграло и играет важнейшую роль в эволюции материи, в том числе и в возникновении и эволюции биологической формы движения материи. Доказательством этого положения является высказывание видных ученых, которые подчеркивают, что «в процессе химической эволюции при наличии всех необходимых для нее условий происходит **усиление роли сопряженности. Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона организации динамических неравновесных систем**» [118, с. 165] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Остается только добавить, что к таким динамически неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой. Принцип сопряжения обеспечил не только эволюцию конкретных форм движения материи, но и их генетическую связь.

Осмысление и понимание сущности *сопряжения* как важнейшей стороны *взаимодействия* дает основание для

предположения, что данная категория может быть обоснована и как важнейший *дидактический принцип обучения и воспитания*. Дидактические принципы, как правило, являются проекцией общих законов природы и тех философских категорий, через которые они выражаются. Например, такие дидактические *принципы*, как преемственность, системность, принцип развивающего обучения и др., выведены из философских законов и категорий, которые вскрывают наиболее общие тенденции развития явлений объективного мира, и одновременно являются правилами и формами человеческого познания, мышления.

Теоретико-методологическую основу обучения составляют законы диалектики. Особую значимость в этом отношении представляет закон «единства и борьбы противоположностей». По выражению В.И. Ленина: «...Диалектика есть изучение противоречия в самой *сущности предметов...*» [44, с. 227]. Основными ступенями противоречия являются *тождество, различие, противоположность*. Категория тождества обозначена приоритетной не случайно. Противоречие разрешается только в том случае, когда в противоположностях находятся тождественные (одинаковые) предметы и явления, которые, взаимодействуя между собой, образуют *сопряженные* (общие) области. Эти области сопряжения обеспечивает взаимосвязь между противоположностями, и на этой основе возникает система с новым качеством.

Являясь главным компонентом развития, сопряжение и проявляется как развитие, выступает внутренним механизмом, обуславливающим *интегральность, целостность, направленность процессов развития любой системы и по существу регулирует развитие учебного познания*. Огромная важность принципа сопряжения в познании материального

мира инициировала наше исследование методологической значимости категории сопряжения в образовательной области и ее статуса в учебно-воспитательном процессе студентов вуза.

Сопряжение как принцип обучения способствует реализации других педагогических принципов и прежде всего принципа межпредметных связей. Взаимосвязь этих принципов можно рассматривать как диалектическую пару, в которой один принцип (межпредметных связей) является *формой*, второй же принцип (сопряжения) является *содержанием*. Доказательством этого служит как этимология данных терминов, так и существующие разночтения авторов о дидактическом статусе межпредметных связей. Одни авторы рассматривают межпредметные связи как дидактическое *условие* дальнейшего повышения качества знаний обучающихся [107, с. 9], другие – как современный принцип обучения [48, с. 31]. По мнению В.Н. Максимовой, межпредметные связи как принцип обучения *способствуют* реализации всех функций обучения: образовательной, развивающей и воспитывающей [там же, с. 32] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Из этого тезиса следует, что сам принцип является формальным (он лишь *способствует*), а не содержательным, который бы указывал на механизм организации и функционирования системы. Формальность принципа межпредметных связей подтверждается и многолетней педагогической практикой, которая свидетельствует, что интерес педагогической науки и практики к принципу межпредметных связей значительно снизился.

Основной причиной не должной реализации принципа межпредметных связей в области естественнонаучного образования является то, что преподаватели зачастую не *могут выявить точки сопряжения между понятиями*. Они в лучшем

случае пытаются формировать отдельные понятия, забывая зачастую о том, что эти отдельные понятия есть результат сопряжения более частных понятий.

Перенос принципа сопряжения из науки в образовательную область биологии особенно актуален. Это обусловлено спецификой биологической формы движения материи, которая в скрытом виде содержит физическую и химическую формы движения. Отсюда вытекают два принципиальных положения, служащих методологической основой изучения курса биологии. Первое положение определяет стратегию изучения биологической формы движения материи, принципы организации и развития (эволюции) которой отражены в законах и категориях материалистической диалектики. Второе положение направлено на решение тактических задач, связанных с изучением конкретных явлений и процессов жизнедеятельности организмов, в основе которых лежат физико-химические явления. Из этого следует, что понимание сущности живого возможно лишь на основе взаимосвязи (сопряжения) философских, естественнонаучных и биологических понятий, законов и теорий.

При изучении курсов физики, химии, биологии в условиях нашего исследования категория *сопряжения* позволила студентам проследить *эволюцию природных форм*, изучаемых данными дисциплинами. Владение данной категорией дает возможность конкретизировать идеи диалектического материализма, *усвоить их как метод познания и преобразования материального мира*. В свою очередь понимание сущности преобразования одних форм движения материи в другие помогло преподавателям понять *механизмы формирования идеализированных форм в мышлении студентов, так как закономерности развития природы и мышления едины*.

#### **2.1.4. Методологическая роль фундаментальных естественнонаучных понятий и методы их формирования**

Методологическая значимость фундаментальных естественнонаучных понятий определяется их промежуточным положением между философскими категориями, которые они конкретизируют и общими понятиями курсов физики, химии, биологии и географии. Как промежуточное звено между философией и наукой эти понятия *сопрягают* онтологию и гносеологию (объективное знание и познавательный прием), связывают теоретический уровень с эмпирическим, способствуя выработке экспериментальных схем и интерпретации полученных результатов.

Фундаментальные понятия занимают особое место в системе научных знаний. Они обладают большой степенью общности и формируются на всем протяжении изучения курсов физики, химии, биологии и географии как многоуровневые теоретические понятия. А.В. Петров отмечает, что фундаментальные понятия, которые закладываются физикой, это центральные теоретические понятия, являющиеся непосредственной проекцией философских категорий определяющих в самом широком плане содержание *научной картины мира*, как с количественной, так и с качественной стороны [63].

Отличительной чертой фундаментальных понятий является то, что они представляют собой итог формирования системы понятий. Поэтому процесс формирования фундаментального понятия является длительным и состоит из последовательного формирования большого числа взаимосвязанных понятий. Существенной чертой фундаментального понятия является то, что они являются определенной основой целостного учебного курса (или нескольких курсов).

Формирование фундаментального понятия в определенной степени может регулировать последовательность и объем содержания нескольких учебных предметов.

Общими фундаментальными понятиями для цикла естественнонаучных дисциплин, которые развиваются на протяжении всего периода изучения физики, химии, биологии и географии в школе, являются такие как: «материя», «движение», «взаимодействие», «отражение» («информация»), «формы движения», «вещество», «поле», «масса», «энергия», «диффузия» и др. Среди них главным, по мнению М.Д. Даммер и А.В. Усовой, является понятие **«вещество»** [22; 110]. Формирование понятия **«вещество»** в предметах естественного цикла должно идти параллельно с формированием понятия **«энергия»**, так как в процессе превращения вещества происходит и превращение энергии. Важную роль в превращении вещества и энергии играет явление **диффузии**, которое следует считать конкретным случаем проявления фундаментальной формы движения материи – физической, определяющей развитие всех остальных форм движения материи и сохраняющейся в них в качестве исходной. Проявление диффузии имеет место на всех уровнях организации природных систем на нашей планете, начиная с уровня элементарных частиц и заканчивая геосферой.

Мерой организации любой природной системы является информация, как отраженное разнообразие, которое фиксируется, закрепляется в виде формы, позволяющей выявить специфические качества нового объекта по сравнению с предшествующими. Поэтому понятия **«информация»** и **«форма»** являются фундаментальными категориями естествознания; они должны быть постоянно в поле зрения педагогов и наполняться конкретным содержанием при изучении предметов естественнонаучного цикла.

Обозначенные нами понятия «*вещество*», «*энергия*», «*информация*», «*диффузия*» и «*форма*» являются конкретизацией атрибутов материи *движения, взаимодействия, отражения*, что позволяет их выделить в особую группу фундаментальных взаимосвязанных естественнонаучных понятий и на этой основе разработать *методологические* и *содержательные* основы преемственности физики, химии, биологии в условиях межпредметных связей. Данные понятия являются категориальным аппаратом законов (*сохранения массы, энергии, электрического заряда, законов термодинамики* др.) и теорий (*электронная теория вещества и квантовая теория света* и др.), общих для дисциплин естественнонаучного цикла. Реализация этой концептуальной идеи в школьной практике способствовала обеспечению формирования у обучающихся теоретических знаний и естественнонаучного мышления.

Приоритетность методологических основ в содержании современного естественнонаучного обучения, овладение обучающимися основными познавательными средствами, методами и приемами изучаемых наук обоснована ведущими философами, психологами и методистами. Учитывая положение о том, что естественнонаучное мышление формируется и развивается на основе диалектической связи структурных компонентов физических, химических и биологических знаний, характеризующихся преобразованием предметной реальности во всевозможные модели (образную, знаковую, логическую и др.), нами при проведении педагогического эксперимента особое внимание было уделено **методу моделирования**. Этот метод обладает огромной эвристической силой, так как с его помощью удается свести изучение сложного к простому, невидимого и неосязаемого к видимому и осязаемому, т. е. сделать любой сложный

объект доступным для тщательного и всестороннего изучения. При построении моделей приоритет был отдан *эвристическим и проблемным методам*, ибо они создают наиболее благоприятные условия для развития творческой самостоятельности обучающихся.

Для конкретизации этой идеи нами разработаны понятийные и образно-знаковые модели высокого уровня интеграции: «Атрибутивная модель понятия "материя", «Идеализированная модель живых систем», «Энергетическое состояние электрона в метаболитах фотосинтеза и дыхания», «Растительный организм как целостная система» и др.), которые позволили целенаправленно развивать выделенные нами понятия в процессе изучения предметов естественнонаучного цикла [68; 70]. Эти модели дали возможность «создания» у школьников (при участии учителя) таких наглядных обобщенных образов, которые выражают самые существенные свойства изучаемых объектов (материи в целом), их внутреннюю структуру и сущность. В процессе эксперимента предложенные модели позволили решить ряд дидактических задач, что способствовало переводу межпредметных связей между курсами физики, химии биологии и географии на новый качественный (теоретический) уровень:

- обучающиеся ознакомились с модельным характером науки;
- модели использовались в качестве эффективных средств наглядности;
- при «создании» этих моделей под руководством учителя школьники овладевали методом моделирования;
- модели и моделирование использовались как средство запоминания учебного материала;

– модели использовались как средство для получения новых знаний о другом объекте (оригинале);

– модели-схемы использовались для введения обучающихся в учебный курс, в учебную тему;

– понятийные модели позволили выявить иерархию и взаимосвязь фундаментальных естественнонаучных (философских) понятий, что способствовало переводу межпредметных связей между курсами физики, химии и биологии на теоретический уровень;

– предложенные модели играли роль связующего (переходного) звена в процессе движения познания объектов неживой и живой природы от эмпирического уровня их восприятия к теоретическому уровню их осмысления. То есть с помощью этих моделей в сознании обучающихся происходил переход от чувственного восприятия к мысленному созерцанию, а от него – к разумному познанию;

– моделирование как деятельность по построению и изучению моделей для указанных целей развивало у школьников такие психические процессы, как восприятие, память, мышление, воображение, представления, а также создавало положительную мотивацию к изучению предметов естественнонаучного цикла;

– разработанные авторами *образно-знаковые модели* позволили конкретизировать выделенные нами абстрактные понятия о *веществе, энергии, диффузии, информации и форме*, а также показать их взаимосвязь в целостной системе: в *«идеализированной модели живой системы»* [68; 70]. Это расширяло возможности обучающихся для оперирования этими понятиями и их отношениями.

Всестороннее выявление *гносеологического значения моделирования* возможно только на основе диалектико-материалистической концепции метода моделирования, которая, исходя из фундаментального принципа познания – *принципа отражения*, позволяет раскрыть сущность и функции различного рода моделей.

Необходимость применения моделирования в образовательной области естествознания очевидна в силу сложности и комплексности этой предметной области. Кроме того, в последнее время наблюдается тенденция к изменению парадигмы подготовки обучающихся, а именно переход от экстенсивно-кумулятивной парадигмы к интенсивно-технологической, предполагающей *формирование методологической культуры у школьников* вплоть до интеллектуальной деятельности (В.И. Разумов). Поэтому нам представляется актуальным обучение обучающихся основной школы моделированию и использованию системы моделей *при формировании фундаментальных естественнонаучных понятий*, а также их применению при объяснении и интерпретации сущности законов и теорий, общих для курсов физики, химии, биологии.

Разработанная авторами «Атрибутивная модель понятия «материя» в должной мере отражает и интерпретирует сущность диалектического материализма как основного метода познания материального мира. Поэтому она может претендовать на роль метамоделей естествознания и определять общую стратегию изучения всех естественных дисциплин, их преемственность и интеграцию, способствовать развитию теоретического мышления и научного мировоззрения не только у школьников, но и у студентов, учителей и преподавателей вуза [68].

Анализ концепций и теорий филогенеза мышления человека позволяет сделать вывод о том, что его развитие прошло длительный исторический путь от наглядно-действенного до понятийного и диалектического видов мышления. Промежуточным этапом на этом пути явилось наглядно-образное мышление. Последовательность прохождения данных этапов развития мышления характерна и для онтогенеза человека. Однако практика свидетельствует, что не только в школе, но и в вузе знания большинства школьников и студентов не достигают теоретического уровня, в основе которого лежит понятийное мышление. Наибольшие затруднения в развитии мышления школьников возникают на этапе трансформации наглядно-образного мышления в понятийное.

В разрешении этой проблемы большое значение имеют результаты исследований в области физиологии мышления, полученные в лаборатории, руководимой Г.А. Твердохлебовым. Анализируя экспериментальные данные, автор обосновывает наличие еще одного вида мышления – *обобщенно-образного, являющегося связующим звеном между наглядно-образным и понятийным мышлением и определяющего стратегию данного перехода* [91].

Формированию обобщенно-образного вида мышления способствует метод моделирования *реальных объектов и процессов, лежащий в основе научного познания*. Метод моделирования обладает огромной *эвристической силой*, так как при конструировании моделей у школьников возникает *наглядный обобщенный образ моделируемого объекта*. Кроме того, построение моделей способствует *взаимодействию эмпирического и теоретического уровней познания, мышления с чувственностью, ненаглядных элементов с наглядными, что соответствует требованиям*

*современной науки*. Эта функция облегчает понимание формальных теорий и является особенно важной в процессе обучения. Оперирование идеальными (мысленными) моделями представляет собой *элемент теоретической (умственной) деятельности*, складывающейся как из логического, дискурсивного мышления, так и из процесса творческого воображения. Использование разработанной нами системы образно-знаковых моделей разного уровня интеграции в учебном процессе показало, что они становятся для обучающихся своеобразными *методологиями* изучения конкретного материала и способствуют формированию у них *обобщенно-образного мышления*, которое является важнейшим звеном на пути к понятийному виду мышления.

#### **2.1.5. Комплексные задания как средство развития понятий «вещество» и «энергия» в курсе биологии**

Общие принципы организации и функционирования материи являются основной методологией для изучения конкретных форм ее движения, в том числе и биологической. Знание этих фундаментальных закономерностей позволяет выявить материальную основу, на которой возникла данная форма материи, ее фундаментальные свойства, выступающие как единство противоположностей и определяющие ее дальнейшее развитие, качественное отличие от других форм бытия и т.д.

При характеристике различных форм движения материи широко используют следующие всеобщие категории: **вещество** как вид материи; **энергия** – общая количественная мера различных форм движения материи; **информация** – мера

организованности (разнообразия) систем, находящаяся с энтропией в обратной зависимости; **форма** как организующий фактор бытия, принцип упорядоченности, способ существования того или иного содержания.

Предельно общие понятия, законы и теории выступают методом научно-теоретического мышления, иначе говоря, методологией познания объективной реальности [37], поэтому полноценное их усвоение обучающимися при изучении цикла естественных дисциплин (физики, химии, биологии, географии и др.) является важнейшим условием формирования естественнонаучного мышления [106; 120]. На основе их усвоения и формируется естественнонаучная картина мира.

Среди важнейших фундаментальных естественнонаучных понятий «вещество» и «энергия» считаются главными. Это предопределено тем, что, с одной стороны, они конкретизируют такие важнейшие категории философии, как «материя» (вещество *вид материи*); «энергия» (общая количественная и качественная характеристика *всех форм движения материи*). С другой стороны, в силу огромной содержательной значимости этих понятий они обладают огромным методологическим и мировоззренческим потенциалом познания живых систем всех уровней организации. Совокупность этих *сопряженных понятий* является мощным системообразующим фактором изучения всех природных систем.

Данные естественнонаучные понятия конкретизируют философские категории и принципы на естественнонаучном уровне и обогащают их. Совместно с философскими категориями эти естественнонаучные понятия составляют ядро научной (*естественнонаучной*) *картины мира*, которая является основой для формирования у студентов научного мышления и мировоззрения. Философские и естественнонаучные понятия раскрывают

общие законы природы, которые при их усвоении студентами становятся их общими законами мышления. Согласно требованиям к результатам освоения основных образовательных программ бакалавриата выпускник вуза должен уметь анализировать *мировоззренческие*, социальные и личностнозначимые философские проблемы и использовать знания о *современной естественнонаучной картине мира* в образовательной и профессиональной деятельности.

Подтверждением приоритетности понятий о веществе и энергии может служить рабочая программа по биологии для 10–11 классов (сост. И.Б. Морзунова, Г.М. Пальдяева, 2013). В качестве методологической основы для изучения общих биологических закономерностей, проявляющихся на разных уровнях организации живой природы, авторами обозначены такие понятия как: «обмен веществ и превращения энергии», «фотосинтез», «эволюция», «наследственность» и «изменчивость». Следует заметить, что среди всех отмеченных понятий «вещество» и «энергия» обозначены первыми. Вслед за ними располагается понятие «фотосинтез», которое не является ни фундаментальным естественнонаучным и даже ни общебиологическим понятием. Однако включение фотосинтеза в лидирующую группу наиболее значимых понятий не случайно. Это обусловлено тем, что данный процесс является *самым уникальным на нашей планете*, обеспечивающим подавляющее большинство организмов пластическим и энергетическим материалом, а также кислородом, которые являются основой их жизнедеятельности.

Таким образом, понятия «вещество» и «энергия», являясь важнейшими для всего естествознания, выполняют, прежде всего, методологическую функцию при формировании такого фундаментального понятия курса биологии, как «обмен веществ». В свою очередь ключевое общебиологическое понятие

«обмен веществ» также выполняет методологическую функцию и во многом предопределяет стратегию формирования таких важнейших общебиологических понятий, как анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание, биологическое окисление и др. Вполне естественно, что от понимания сущности этих понятий, их логической взаимосвязи будет зависеть глубина и верность сформированности итогового понятия «обмен веществ».

Одной из актуальных задач обучения, по мнению академика РАО А.В. Усовой, «...является формирование у учащихся умения применять знания для объяснения явлений, наблюдаемых в природе и технике, раскрытие перед ними взаимосвязи явлений различной природы, что играет очень важную роль в формировании у школьников научного мировоззрения и диалектического метода мышления» [26, с. 3]. Особое значение в решении этой проблемы приобретает выполнение заданий *комплексного характера*, предполагающих выявление школьниками и студентами взаимосвязи явлений различной природы: физических, химических, биологических и географических. Ниже приводятся вопросы межпредметного характера, направленные на развитие таких фундаментальных естественнонаучных понятий, как «вещество» и «энергия».

### **Вещество**

1. Дайте определение понятию «вещество». Какие атомы называют органогенами и почему им дали такое название? Какой из органогенов природа «выбрала» в качестве основного для построения «скелета» молекул органических веществ и почему? Какие вещества называют биополимерами, и какие функции они выполняют? Использует ли человек в своей практической деятельности знания о функции биополимеров? Приведите примеры.

2. Дайте определения следующим понятиям: «вещество», «простое вещество», «сложное вещество», «неорганическое вещество», «органическое вещество», «биополимер», «живое вещество». Обозначьте, какие из этих понятий закладываются в курсах физики, химии и биологии. Связаны ли между собой эти понятия? Приведите пример.

3. Превращение вещества происходит на разных уровнях организации растительного организма. Это зафиксировано в ряде таких важнейших биологических понятий, как: катаболизм, ассимиляция, обмен веществ, диссимиляция, фотосинтез, метаболизм, анаболизм, дыхание, окислительно-восстановительная реакция. Используя принципы системного подхода, создайте понятийную модель, отражающую иерархию (соподчинение) этих понятий.

4. Какие вещества являются исходными для процесса фотосинтеза? Какие вещества образуются в результате этого процесса? Как вы оцениваете уровень организации исходных и конечных веществ? На основе выделенных вами веществ составьте уравнение фотосинтеза. Дайте ему определение. Какова роль фотосинтеза в круговороте веществ на уровне биосферы?

5. Какие вещества используются живой клеткой в качестве субстратов (исходных веществ) для дыхания? Какой структурной реорганизации подвергаются эти вещества? В каких условиях этот процесс может осуществляться и будет ли зависеть «продуктивность» дыхания от этих условий? Приведите уравнение дыхания. Дайте на основе этого уравнения определение данному процессу. Докажите, что в основе дыхания лежат окислительно-восстановительные реакции. Какие вещества поставляют дыхание для других обменных (биологических) процессов? Какие вещества употребляют спортсмены во время длительных забегов и почему?

## 2. Энергия

1. Как переводится термин «энергия»? Дайте определение этому понятию. Какие формы энергии изучаются в физике, химии и биологии? Сформулируйте законы сохранения и превращения энергии. Какое соединение называют универсальной энергетической валютой всех типов клеток существующих на Земле? Дайте краткую характеристику этому соединению.

2. Согласно законам фотохимии каждый квант видимого света возбуждает одну фотохимическую реакцию. В процессе фотосинтеза поглощаются сине-фиолетовые и красные кванты. Обоснуйте, какие из этих квантов несут больше энергии, используя уравнение Эйнштейна:  $E = h \frac{c}{\lambda}$ . В каких лучах КПД фотосинтеза будет наибольшим и почему? Что происходит с теми квантами, которые не поглощаются зеленым листом?

3. Какие виды энергии тратятся для круговорота веществ на нашей планете. Существуют ли процессы запасаения солнечной энергии в неживой природе? В каком виде запасается солнечная энергия в зеленом листе? Может ли она долго храниться? Может ли запасенная энергия непосредственно быть использованной на процессы жизнедеятельности клеток? Ответ обоснуйте.

4. Нефть, природный газ и каменный уголь называют основными энергетическими ресурсами всего человечества. Какая исходная форма энергии заключена в этих природных ископаемых? В какую форму энергии она в конечном итоге трансформировалась в этих ископаемых? Через какие «промежуточные» формы энергии происходила эта трансформация? Какие формы энергии человек получает, используя природные ископаемые?

5. Какие процессы, протекающие в клетке, приводят к освобождению энергии: 1) окислительно-восстановительные;

2) полимеризация. Имеют ли место эти процессы при освобождении энергии в неживой природе? О чем это свидетельствует? Какие формы энергии известные в неживой природе используют и живые организмы? Какие формы энергии характерны только для живых организмов?

6. Дополните логическую схему ответа. «Преобразование энергии в живых системах происходит следующим образом. Внешняя неустойчивая форма энергии \_\_\_\_\_ в процессе фотосинтеза преобразуется во внутреннюю устойчивую энергию \_\_\_\_\_, которая может долго храниться. Для того чтобы быть использованной, она преобразуется (трансформируется) в процессе дыхания в лабильную энергию \_\_\_\_\_. Последняя форма энергии может преобразоваться в процессе жизнедеятельности организмов в такие виды, как:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. Заполните таблицу, которая должна отражать превращения вещества и энергии при фотосинтезе и дыхании у растительного организма.

Таблица

**Основные условия протекания фотосинтеза, дыхания и их продукты**

Условия	Процессы	
	Фотосинтез	Дыхание
1.1. Исходные вещества		
2.2. Конечные продукты		
3.3. Что происходит с энергией		
4.4. Протекание во времени		
5.5. В каких органах протекает		

### **2.1.6. Особенности формирования сопряжённых физиологических понятий «фотосинтез» и «дыхание» в разделе «растения»**

Необходимость изменения качества биологического образования в настоящее время осознана на государственном уровне. Перед школой поставлена задача постепенного обновления структуры и содержания общего среднего образования, создания равных возможностей для всех обучающихся в получении качественного образования. Согласно государственным документам в школьном курсе биологии должны найти отражение подходы, обозначенные в федеральном компоненте государственного стандарта общего образования: реализация системно-деятельностного подхода за счет включения в содержание биологического образования определенных способов учебной деятельности, как интеллектуальной, так и практической, *выдвижение на первый план общебиологических знаний и умений* применять их для анализа и интерпретации второстепенных, частных фактов.

Опираясь на данную стратегию и учитывая результаты проведенного ранее эксперимента в школах города Челябинска и области в рамках реализации концепции естественнонаучного образования, разработанной академиком РАО А.В. Усовой, а также инновационные идеи ведущих отечественных методистов, нами предлагается принципиально новый подход к формированию таких важнейших общебиологических понятий, как «фотосинтез» и «дыхание», который позволяет формировать данные понятия уже в 6 классе не только на эмпирическом, но и на теоретическом уровне. Такая необходимость детерминирована фундаментальностью и значимостью этих процессов для всего живого на планете Земля.

Выбор этих понятий не случаен. Фотосинтез является основной анаболизма не только для растений, но и для всех живых организмов на Земле, в то время как дыхание является основой катаболизма для всех биологических объектов. В свою очередь анаболизм и катаболизм являются звеньями метаболизма (обмена веществ), который определяет жизнедеятельность любого организма. Поэтому от уровня понимания содержания данных понятий будет зависеть и уровень сформированности таких основополагающих общебиологических понятий, как метаболизм и обмен веществ, которые отражают самые существенные особенности биологической формы движения материи, что в конечном итоге скажется на качестве биологического образования и экологическом сознании каждого ученика.

Основной причиной непрочного усвоения понятий о фотосинтезе, дыхании и обмене веществ в целом при изучении раздела «Растения» является отсутствие опоры на такие фундаментальные естественнонаучные понятия, как «вещество» и «энергия». Без получения элементарных знаний о превращении вещества и энергии нельзя понять сущности этих физиологических процессов, которые тесно взаимосвязаны между собой и составляют основу внутриклеточного обмена у растений.

Данная проблема, по мнению Б.Д. Комиссарова, может решаться разными путями. Суть первого пути состоит в том, что в существующем курсе, начиная с 6 класса, учитель биологии неизбежно должен «забегать вперед» и до изучения основ соответствующих наук в урезанной и поверхностной форме знакомить школьников с теми физическими, химическими, ... и теоретическими схемами, которые необходимы для понимания живой природы. При втором пути решения данной проблемы структура биологического образования может быть развернута

и на фоне межпредметной координации. «Однако и в этом случае систематическому курсу биологии должно предшествовать усвоение элементарных сведений по физике, химии, геологии, астрономии, математике (в составе интегрированных или систематических предметов, изучаемых до биологии или одновременно с ней)» [33, с. 35].

Перестройка курса биологии, по мнению одного из ведущих специалистов в области методики физики – А.В. Усовой, приводит к необходимости перестройки содержания и структуры курсов физики и химии, а также изменения их места в учебном плане [111].

В настоящее время необходимо создать, если можно так сказать, естественную образовательную систему, которая отражала бы естественный ход развития материи вообще, в результате которого физическая форма движения материи породила химическую форму движения материи, а она, в свою очередь, – биологическую форму движения материи, в то время как существующие образовательные системы (концепции), в области биологии, в той или иной мере являются искусственными.

Реализация данной идеи становится особенно актуальной в современный период развития общества, так как решение многих насущных проблем в области естествознания требует интеграции знаний физики, химии и биологии. Подобная тенденция в науке неизбежно приведет к необходимости перестройки содержания и структуры всех естественных курсов, изучаемых в школе. Реализация данной концепции в школьной практике убедительно свидетельствует, что усвоение обучающимися фундаментальных естественнонаучных понятий, законов, теорий в 6 классе создает научный фундамент для изучения

биологических систем разного уровня организации не только на эмпирическом уровне, но и на теоретическом. При этом усваивается не только понятийный аппарат курсов физики и химии, но и методы и приемы, которые позволяют добывать научные знания об объектах и явлениях окружающего мира. Важнейшим из них является функциональный подход, применение и усвоение которого в курсах физики и химии позволит эффективно его использовать и углубить при изучении физиологических функций, понимать их сущность и управлять ими в практической деятельности.

Как уже было отмечено выше, кардинальное решение проблемы, связанной с переводом биологического образования на теоретический уровень, требует коренного пересмотра школьных учебных планов и опережающего изучения курсов физики и химии. Однако от учителя, в настоящее время, не зависит стратегическое решение этого вопроса, а единственным путем в достижении этой цели является изменение тактики. Это значит, что при изучении ботаники (раздела «Растения») учителю необходимо параллельно формировать физические и химические понятия, без которых невозможно заложить прочные биологические знания. Реализация этой задачи осложняется еще и тем, что формировать физические и химические понятия необходимо уже на первых уроках при общем знакомстве с цветковыми растениями.

Таким образом, даже самый общий анализ свидетельствует о слабом уровне преподавания физиологических тем в школьном курсе биологии. Это уже предрешено учебными планами по естественным дисциплинам, а также содержанием материала учебников по биологии 6 класса, что не позволяет на должном уровне заложить элементы теоретической биологии

при изучении этой дисциплины, и в дальнейшем сказывается отрицательно на формировании биологического мышления у школьников и студентов в целом.

Изучение физиологических процессов (фотосинтеза и дыхания) и раздела «Растения» на теоретическом уровне возможно, но для этого необходимо решить ряд конкретных задач организационного, методологического и методического характера:

1. Пересмотреть содержание программ по курсу «Биология».
2. Принять единую логику для изучения структуры и функции.
3. При изучении всех разделов курса соблюдать принцип единства содержания и формы. Главенствующую роль отводить содержанию.

4. На первых уроках заложить основы таких физических и химических понятий, как: атом, молекула, химическая реакция, простое и сложное вещество, органическое и неорганическое вещество, энергия, процесс, воздух и т.д., без которых невозможно понять сущность физиологических процессов даже в самом общем виде. Для решения этой задачи в ходе проведенного нами эксперимента в авторскую программу для 6 классов была введена пропедевтическая тема: «Генетическая связь неживой и живой природы» [120, с. 20].

5. Постоянно определять место изучаемого процесса в общем обмене веществ, его взаимосвязь с другими процессами.

6. Учить применять физиологические знания на практике.

Исключительное значение в формировании и развитии фундаментальных естественнонаучных и биологических понятий имеют философские законы и категории, отражающие сущность организации и развития материи. В рамках современного учения о материи происходит все более глубокое переосмысление исходных принципов ее организации и функционирования.

Это обусловлено теми фундаментальными открытиями естественных наук в области микромира, которые позволили выйти на новый уровень понимания материального мира. Особое значение в этом аспекте имеют исследования *внутренних сторон взаимодействия*, которые отражают взаимные превращения и переходы, взаимную обусловленность и связь объектов и явлений природы. Учитывая актуальность данного направления исследования, нами ранее дано философское и естественнонаучное обоснование сущности *сопряжения* как одной из внутренних сторон *взаимодействия*, которая позволяет глубже понять как организацию и функционирование биологической формы движения материи, так и ее взаимосвязь с физической и химической формами движения материи.

Методологический потенциал сопряжения как естественнонаучной категории познания достаточно ярко высвечивается при изучении биологической формы движения материи, которая «*в скрытом виде*» включает в себя физическую и химическую формы движения. Поэтому применение принципа сопряжения к познанию сущности процессов фотосинтеза и дыхания позволяет выявить физико-химическую природу этих процессов, взаимосвязь между ними, другими физиологическими процессами растений и окружающей средой. Очень часто фотосинтез и дыхание противопоставляют друг другу. Основанием для этого является обратная направленность некоторых реакций этих процессов. Однако в действительности между ними гораздо больше сходства, чем различий. Следует особо отметить, что оба эти процесса тесно сопряжены и являются важнейшими звеньями углеводного обмена, который постоянно обеспечивает растительный организм энергетическим и пластическим материалом на протяжении всей его жизни. Сознательное применение

данной категории обучающимися при формировании и развитии понятий «фотосинтез» и «дыхание» одновременно вооружит их и эффективным методологическим средством познания, способствующим формированию научной картины мира и мировоззрения в целом. Овладение обучаемыми сопряжением как категорией диалектики способствует развитию у будущих педагогов диалектического, творческого мышления, которое в настоящее время все больше осознается как общечеловеческая ценность.

Большие надежды учителя возлагали на ныне действующие учебники для 6 класса, которые имеют общее название «Биология». Однако изменения, которые они претерпели, коснулись не столько содержания, сколько формы, и по существу принципиальные вопросы не были решены, в том числе и этот. Следует констатировать, что в учебниках по биологии для 6 класса, подготовленных разными авторами (В.В. Пасечником, Н.И. Сониным, И.Н. Пономаревой с сотр.), фотосинтез и дыхание по-прежнему рассматриваются лишь со стороны их внешних проявлений. Так, например, в основу изучения фотосинтеза положены выделение условий, необходимых для его протекания (свет, углекислый газ, вода, листья с хлорофиллом), и наблюдение результатов этого процесса (образование крахмала и выделение кислорода) [10; 60; 79]. Отсутствие физических и химических знаний не позволяет при изучении этого процесса перейти от явления к сущности: выяснить, какие химические реакции лежат в основе превращения вещества и какие формы энергии используются при этом. При таком обучении все содержание физиологических понятий, в конечном счете, исчерпывается ощущениями и восприятиями, а за мышлением остается только

роль суммирования, упорядочения ощущений и восприятий. Подобный подход, по мнению И.Л. Новицкой, «характерен для эмпирической схемы обобщения и образования понятий, на основании которой у школьников формируется эмпирический тип мышления» [54, с. 28]. Практика показывает, что этот тип мышления остается у большинства школьников старших классов и даже у большинства студентов вузов. Так, подавляющая часть студентов 3–4 курсов биологических факультетов сущность фотосинтеза и дыхания сводят к газообмену, т.е. к внешним их проявлениям, которые они изучали в разделе «Растения». В своей работе И.Л. Новицкая отмечает, что «...добиться качественного улучшения преподавания биологии можно, только если в основу построения будет заложена цель формирования у школьников научно-теоретического мышления. А для этого необходимо создание единого теоретического курса школьной биологии» [там же].

Смена парадигмы в области биологического образования в настоящее время обусловлена прежде всего социально-экономическими запросами общества. Это очень точно подмечено Л.В. Ребровой: «Главная цель и задачи биологического образования в нынешних радикально изменившихся условиях – развитие у учащихся биологического мышления, навыков самостоятельного освоения и критического анализа новых сведений, умения строить научные гипотезы (пусть и несколько наивные) и планировать поиск доказательств для их проверки» [80, с. 26]. Данный автор считает, что сегодня биология среди учебных предметов приобретает особое значение, так как биологические знания, умения и навыки, которые призвана дать школа, являются фундаментом культуры личности.

Вполне очевидно, что для реализации вышеуказанной цели необходимо разработать и претворить в жизнь новые концепции и подходы. И эту проблему также ставит Л.В. Реброва: «К сожалению, существующие методики явно устарели. За последние годы появились новые учебники по биологии, а методики преподаваний остались без изменений, хотя время, новая программа настоятельно диктуют потребность в таких переменах. Слово за учеными» [там же].

Для решения обозначенных выше задач необходимо пересмотреть содержание и логику изложения практически всех глав первой части раздела «Растения», изучаемых в 6 классе. В качестве примера можно привести название и содержание первой главы в учебнике биологии, авторами которого является И.Н. Пономарёва с сотрудниками. Она называется «Общее знакомство с растениями». Если принять логическую схему, которая предложена в данной главе в отношении изучения структуры растения (а она имеет научную основу), и приложить её к изучению физиологических процессов, то название и содержание первой главы явно нуждаются в доработке. В этой главе обучающиеся знакомятся с общим строением растений, их многообразием, распространением, охраной и т.д.

Но давайте подумаем, какие задачи мы решаем, давая такой материал? Очевидно, что немногие и не самые важные. При таком содержании материала, в лучшем случае, систематизируются знания, полученные обучающимися в обыденной жизни, в курсе природоведения, поэтому учитель вряд ли сможет доказать ученикам, что они приступили к изучению такого чрезвычайно важного организма, как растение. Человек настолько привыкает к растениям, что даже взрослым порой трудно доказать уникальность этих организмов. Иначе как можно объяснить

варварское отношение взрослых людей к зеленому царству? Возможно, что именно на этих первых уроках мы не закладываем серьезного отношения не только к разделу «Растения» (ботанике), но и к биологии в целом, которое сохраняется и при изучении других разделов биологии.

Решить эту задачу можно в том случае, если с первых уроков заложить должные основы теоретической биологии, а для этого необходимо при изучении растительных объектов на разных уровнях организации неразрывно изучать структуру и функцию, отдавая предпочтение последней.

Опираясь на методологию системного подхода и учитывая требования Госстандарта по биологии, раздел лучше называть «Общая характеристика растительного организма как биологической (природной) системы». Такое название обязывает изучать структуру и функцию в тесной связи друг с другом. С общим строением растения обучающиеся знакомы из курса природоведения. Следовательно, основной упор необходимо делать на изучение основных жизненных процессов растения – фотосинтеза и дыхания. Почему именно на эти процессы?

К.А. Тимирязев называл фотосинтез самым уникальным процессом на Земле. Поэтому и уникальность растительных организмов, их значение в природе и жизни человека можно довести, только познакомя обучающихся с сущностью этого процесса. Это поможет ученикам и лучше осмыслить материал об охране растительного мира. При таком подходе значение растений вытекает не из общих фраз, а из уникальности процесса фотосинтеза, который присущ только данным организмам и определяет их глобальную роль в биосфере.

Второй процесс, который следует рассмотреть в данной теме – это дыхание. Хотя этот процесс и не является специфичным

только для растений, тем не менее его роль трудно переоценить. Крылатая фраза – «без дыхания нет жизни» – говорит о многом. Являясь ключевым звеном процесса диссимиляции (катаболизма), дыхание обеспечивает любой организм энергетическим и пластическим материалом на протяжении всей его жизни. Следовательно, без ознакомления с этим процессом обучающиеся не смогут понять, откуда черпает растение пластический (строительный) материал и энергию для построения своего тела.

При изучении процессов фотосинтеза и дыхания и установлении взаимосвязи (сопряжения) между ними на уровне целого растения, а затем на уровне клетки мы закладываем методологические основы для изучения всего курса биологии.

1. Формируем основополагающие понятия и законы теоретической биологии:

– даем общее представление об обмене веществ и энергии на организменном, клеточном и молекулярном уровнях;

– закладываем основы понятий «*ассимиляция*» (анаболизм) и «*диссимиляция*» (катаболизм) на примере фотосинтеза и дыхания;

– показываем проявление закона сохранения и превращения вещества и энергии.

2. Знакомим с проявлением законов и категорий материалистической диалектики:

– единства и борьбы противоположностей (на примере сходства и различия (фотосинтеза и дыхания);

– перехода количества в качество (при рассмотрении вопроса об образовании органических веществ из неорганических).

3. Показываем взаимосвязь неживой и живой материи.

Поставив преподавание этих тем на научный уровень, мы вправе ожидать и серьезного отношения обучающихся к изучению раздела «Растения».

Следует предостеречь, что реализовать высказанные идеи не просто. Однако это вполне возможно при продуманном подходе к делу.

Для оказания методической помощи учителю авторами предпринята попытка разработать с позиций системного подхода серию логически связанных опорных схем (моделей), которые будут способствовать формированию и развитию таких важнейших физиологических понятий, как «*фотосинтез*» и «*дыхание*».

Представленная серия схем является дидактическим материалом к теме: «Общая характеристика растительного организма как биологической (природной) системы». Однако эти схемы могут использоваться и в последующих темах изучаемого курса. Следует подчеркнуть, что наибольший эффект можно ожидать в том случае, если они будут «создаваться» поэтапно учителем совместно с учениками, а не использоваться в готовом виде. Все предлагаемые схемы являются авторскими и, по видимому, нуждаются в комментариях.

На рисунке 2 представлена схема: «Значение растений в природе и жизни человека». При составлении этой схемы учитель опирается на знания обучающихся, систематизирует их, при необходимости расширяет и в то же время формулирует проблему, какая особенность строения и жизнедеятельности растений позволяет им играть столь огромную роль в природе и жизни человека

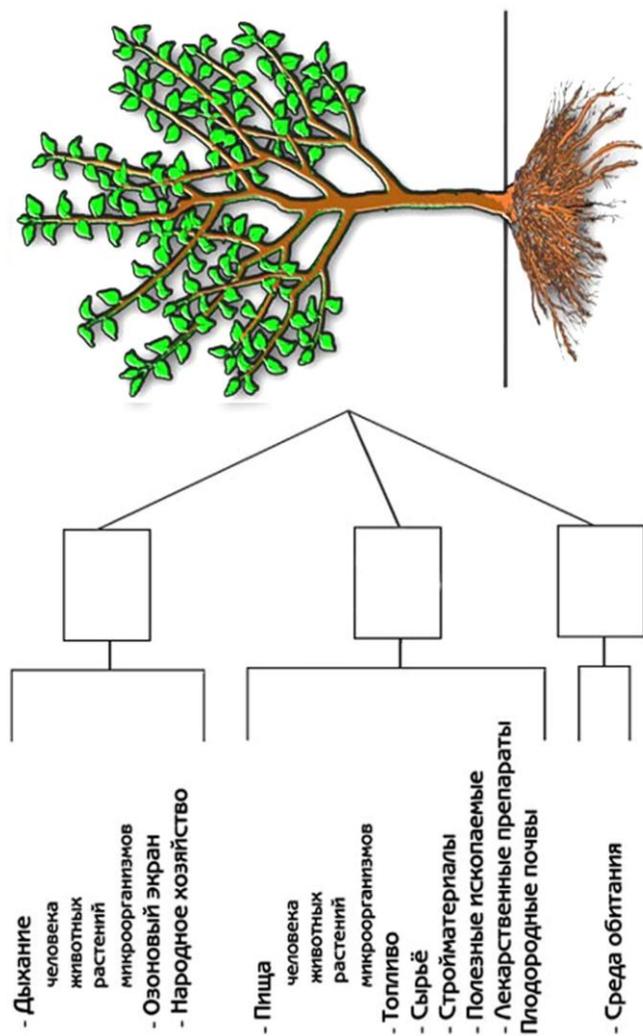


Рис. 2. Значение растений в природе и жизни человека

С помощью следующей схемы (рис. 3) учитель ставит перед обучающимися еще одну проблему: какие вещества являются *основным* строительным материалом растительного организма? Вторая проблема конкретизирует первую. Обучающиеся обычно называют в качестве основного строительного материала растений воду и минеральные соли. Для корректировки их логического пути можно сделать опору на знания учеников из обыденной жизни и спросить, находит ли человек для своих практических нужд в природе «в готовом виде» строительный материал, например такой, как кирпич. Далее следует выделить исходные компоненты для производства кирпича (песок, глина) и подчеркнуть необходимость затраты энергии для его изготовления.

Используя принцип аналогии, можно применить наработанную логическую схему поиска для ответа и на выше поставленную проблему. Решение её следует начать с рассмотрения растительного организма как целостной системы (рис. 4). Необходимо выделить основные элементы (органы), определить в целом их функции, показать взаимосвязь между ними и подчеркнуть особенности взаимодействия органов растений с внешней средой.

При решении поставленной проблемы обучающиеся способны сами выявить исходные неорганические вещества ( $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ ) и энергию (солнечная), которые необходимы для образования в зеленом листе «строительного» материала (органических веществ). Это во многом обусловлено тем, что они в предыдущей теме («Генетическая связь неживой и живой природы») получили элементарные знания по физике и химии, опора на которые позволяет более глубоко разобраться (под руководством учителя) в сущности физиологических процессов, в том числе и фотосинтеза.

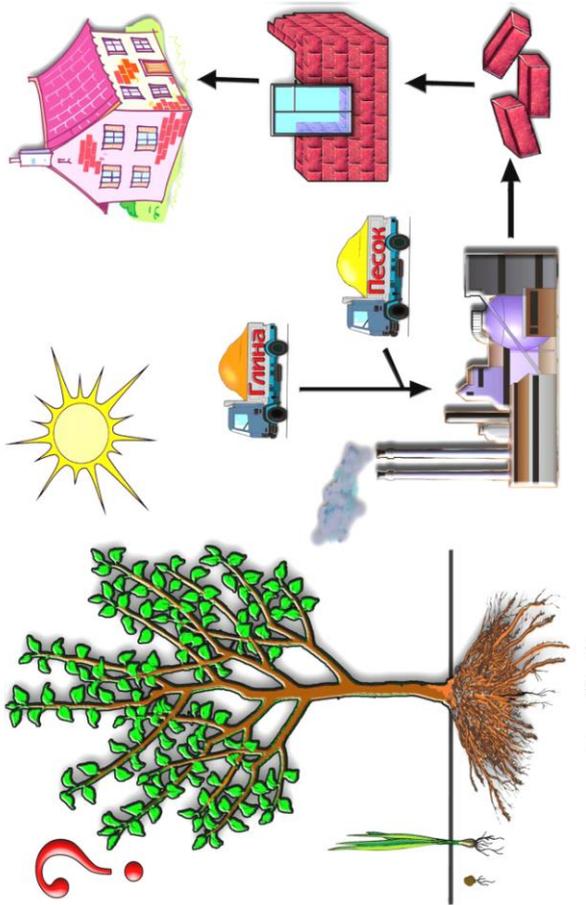


Рис. 3. «Строительство» в природе и жизни человека

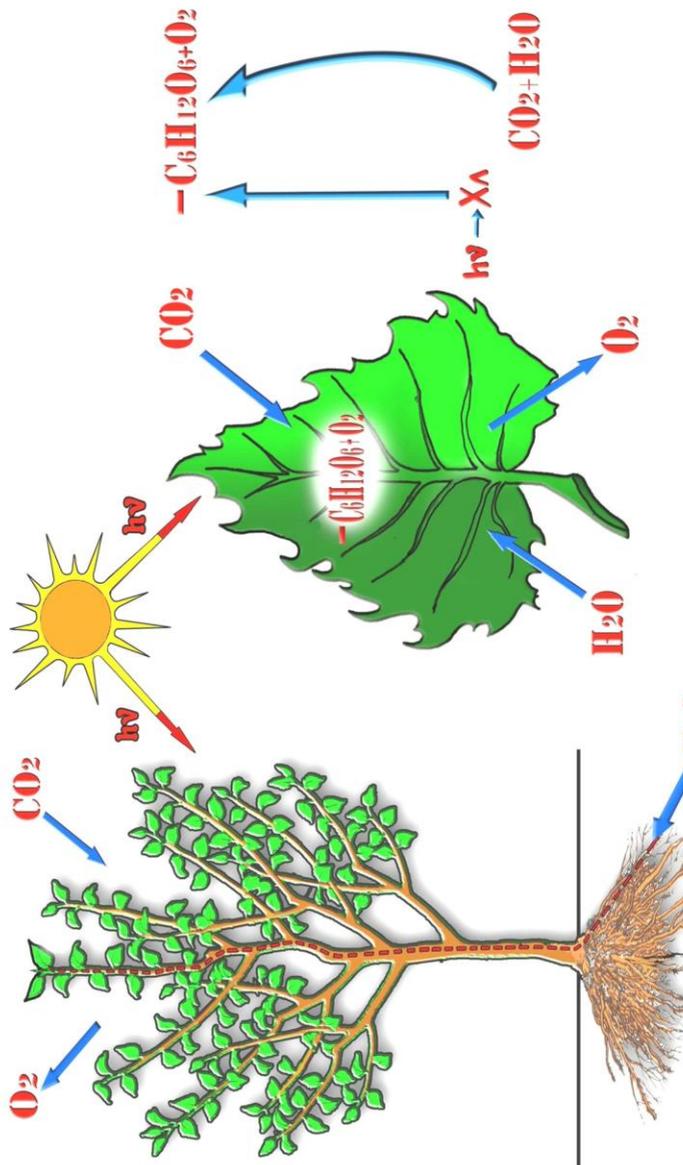


Рис. 4. Преобразование веществ и энергии в процессе фотосинтеза

После рассмотрения фотосинтеза на уровне целого растения и написания его общего уравнения реакции следует «отработать» этот процесс на уровне отдельного органа – листа, а затем на схеме. Такой подход позволяет реализовать принцип от конкретно-образного к абстрактному и направлен на формирование научно-теоретического мышления обучающихся. Следует обратить особое внимание на схему, изображенную на рисунке 4, отображающую процесс фотосинтеза. В ней показано, что в основе данного процесса лежат два важнейших превращения – это *превращение вещества* и *превращение энергии*. Дугообразная стрелка показывает суть и уникальность превращения вещества – из *неорганических веществ*  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  создается новый класс веществ – *органических* ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ), которые, наряду с другими, являются строительным материалом для растения. Прямая стрелка отображает превращение внешней *неустойчивой энергии* квантов света во внутреннюю *устойчивую энергию* химических связей органических веществ, которая может долго «храниться» и постепенно использоваться.

При рассмотрении фотосинтеза следует заострить внимание обучающихся на том, что данный процесс является прерывистым во времени. Он не протекает ночью, в зимний период и т.д., а энергия и пластический материал растению необходимы всегда. Это послужит основой для создания новой проблемной ситуации и позволит логично перейти к изучению другого важнейшего физиологического процесса, который тесно связан с фотосинтезом, – дыханию.

Опираясь на содержание рисунка 5, можно поставить вопрос, что является источником энергетического и пластического материала для растения в том случае, когда фотосинтез не протекает. Если она вызовет затруднение, то можно, используя принцип аналогии, задать вопрос, решение которого позволит

обучающимся найти подход к выполнению предыдущего задания. Например, для какой цели человек делает запасы строительного материала, и в частности кирпича? Решение предыдущей проблемы позволит учителю логично сформулировать очередной вопрос, могут ли запасенные в процессе фотосинтеза органические вещества, которые находятся в устойчивой форме, непосредственно (сразу же) использоваться как пластический и энергетический материал для роста и развития растения? При обсуждении этой проблемы учеников необходимо подвести к мысли о том, что для преобразования сложных органических веществ в более «простые» органические вещества и для перевода устойчивой энергии химических связей органических веществ в лабильную энергию макроэргических связей АТФ необходим определенный физиологический процесс. Таким процессом является дыхание.

В основе дыхания, как и фотосинтеза, лежат явления преобразования вещества и энергии. Суть этих превращений отображена на рисунке 6. Используя общее уравнение дыхания при объяснении сути данного процесса, учителя (и даже авторы школьных учебников) очень часто допускают грубую ошибку, считая, что весь исходный дыхательный субстрат (органические вещества) полностью распадается до неорганических – углекислого газа и воды. На самом же деле промежуточные продукты процесса дыхания (в первую очередь органические кислоты) могут использоваться на синтез белков, липидов, углеводов и других важнейших органических соединений. Следовательно, дыхание является не только источником энергии, но и пластического материала (промежуточных метаболитов) для других обменных процессов. В целях избежания вышеупомянутой ошибки на первых уроках при объяснении дыхания лучше использовать схему, изображенную на рис. 6, а не общее уравнение реакции, отражающее данный процесс.

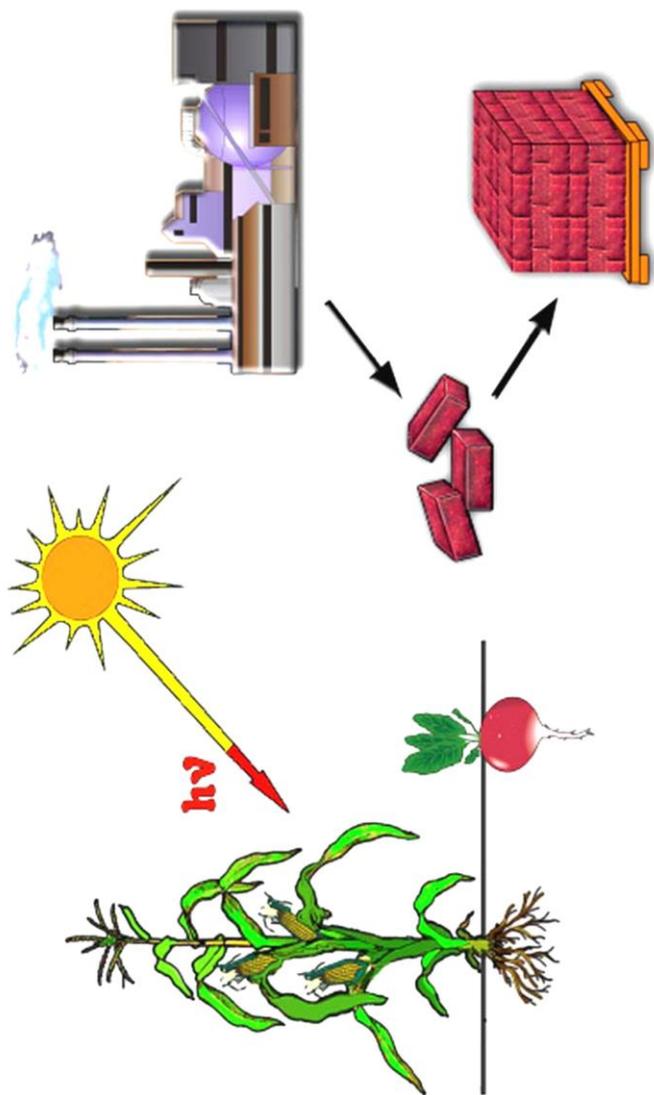


Рис. 5 Создание строительного материала в природе и жизни человека

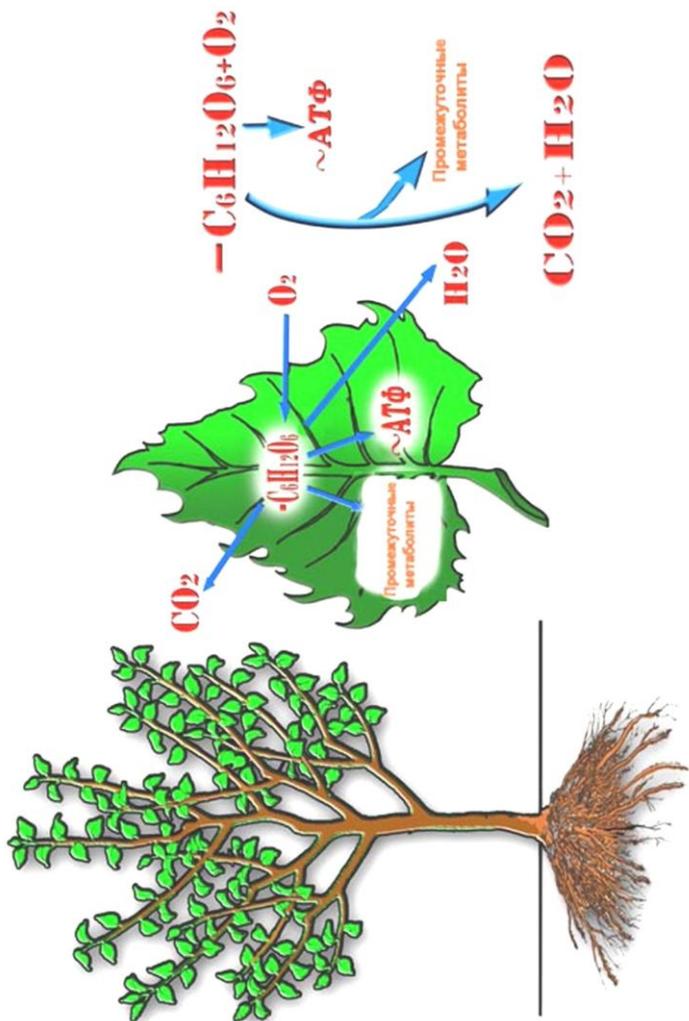


Рис. 6. Преобразование веществ и энергии в процессе дыхания

Очень часто фотосинтез и дыхание противопоставляют друг другу. Основанием для этого является обратная направленность некоторых реакций этих процессов. Однако в действительности между ними гораздо больше сходства, чем различий. Следует особо отметить, что оба эти процесса тесно сопряжены и являются важнейшими звеньями углеводного обмена, который постоянно обеспечивает растительный организм энергетическим и пластическим материалом на протяжении всей его жизни. Взаимосвязь фотосинтеза и дыхания отображена на рисунке 7.

Выявление сущности фотосинтеза и дыхания позволяет вернуться к исходной проблеме: почему растительные организмы играют столь огромную роль в природе и жизни человека и заполнить три прямоугольника на рисунке 1 (правильность ответа можно проверить, используя рисунок 8).

После выявления роли фотосинтеза для самого растения необходимо показать его значимость в глобальном масштабе для всего живого. Являясь продуцентами, растения занимают центральное место в биогеоценозах, обеспечивая пищей все другие организмы и их многообразие (рис. 9).

Таким образом, приведенные теоретические рассуждения, а также их экспериментальная проверка на практике дают основание заключить, что изучение физиологических процессов фотосинтеза и дыхания на молекулярном уровне в разделе «Растения» школьного курса биологии позволит выявить не только их явленческую сторону, но понять, в самом общем виде, и их сущность; развить такие фундаментальные

понятия, как «вещество» и «энергия», которые являются основополагающими не только для курсов физики, химии и биологии, но и естествознания в целом. Фотосинтез и дыхание являются звеньями единого углеводного обмена растительной клетки, который, в свою очередь, с точки зрения превращения вещества и энергии играет ключевую роль в *общем обмене веществ растительного организма*.

Выявление общих закономерностей и особенностей, которые лежат в основе превращения вещества и энергии, и их использование при изучении фотосинтеза и дыхания приведет к тому, что они станут и общими законами мышления обучающихся, то есть научной методологией познания окружающего мира. При этом конкретизируется сущность категории сопряжения, которая усваивается обучающимися и студентами и становится эффективным методом их познавательной деятельности не только при изучении курса биологии, но и естествознания в целом.

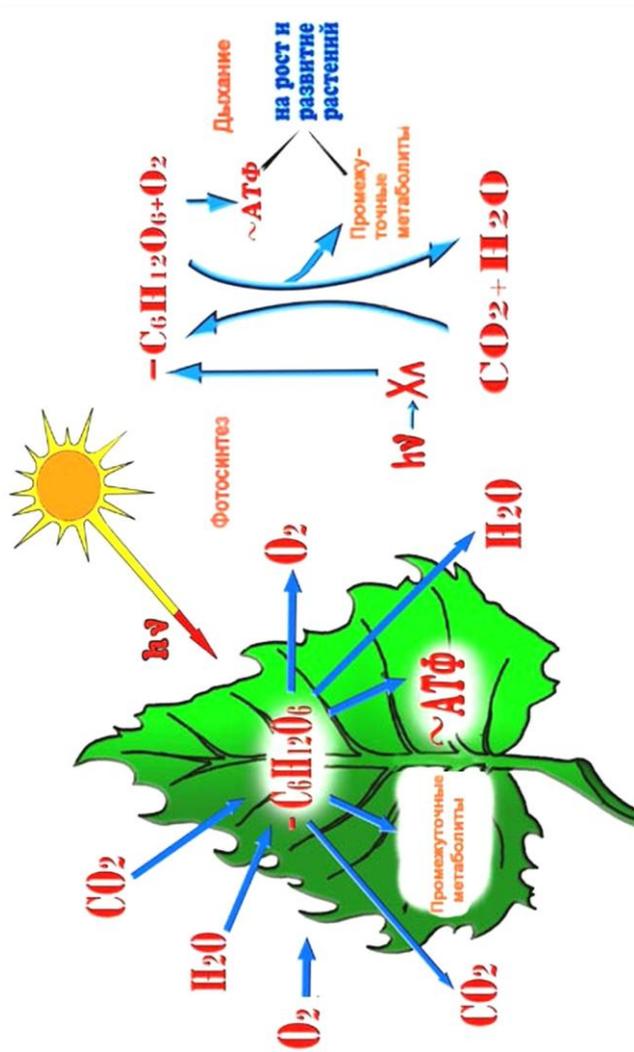


Рис. 7. Преобразование веществ и энергии в процессах фотосинтеза и дыхания

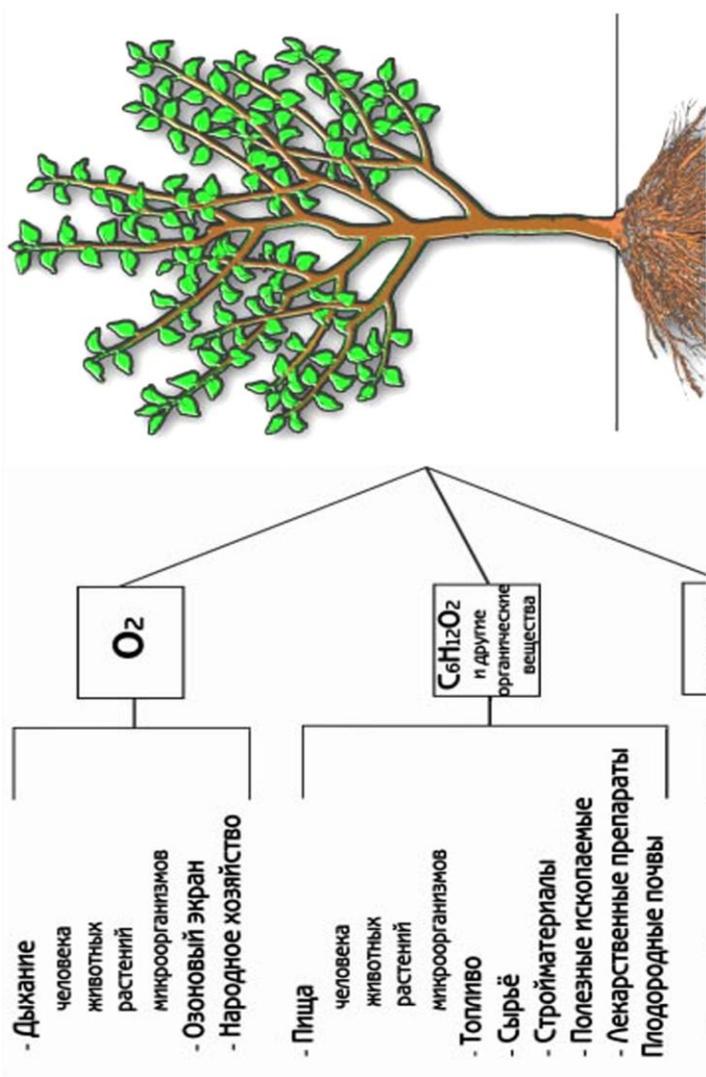


Рис.8. Значение растений в природе и жизни человека

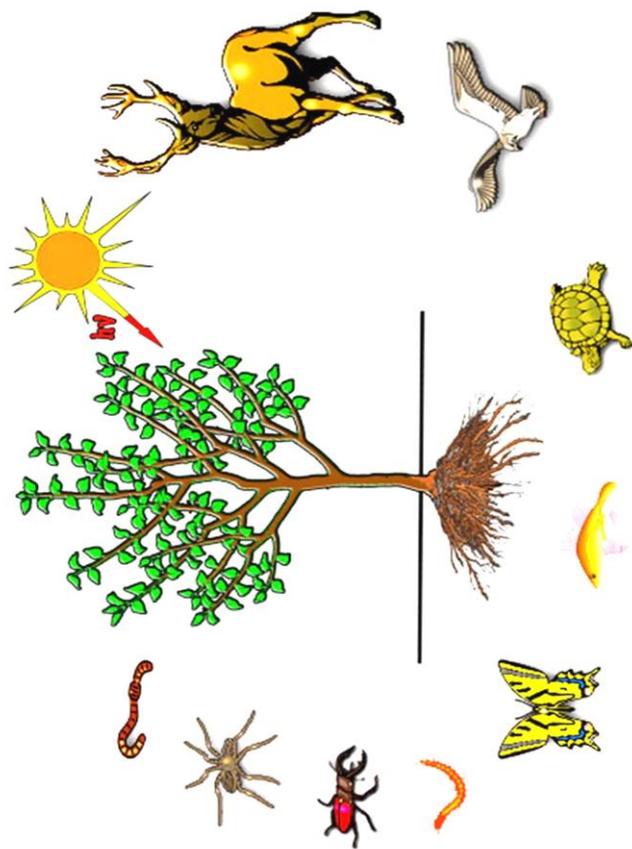


Рис. 9. Растение – основной компонент биогенценозов

### **2.1.7. Фотосинтез как содержательная основа межпредметных связей физики, химии, биологии и физической географии**

Целенаправленная реализация межпредметных связей, по мнению академика РАН А.В. Усовой, возможна лишь тогда, когда известны структурные компоненты этой системы и их *содержательная основа*. Данный исследователь выделяет четыре компонента в системе межпредметных связей. Одним из таких важнейших компонентов являются теоретические знания, содержательной основой которых являются понятия, законы и теории, общие для циклов учебных дисциплин [111].

Фундаментальными теориями, на которые опирается физика, химия, биология и физическая география являются электронная теория вещества и квантовая теория света. Общим для этих естественных наук является и понятийный аппарат этих теорий, в котором фундаментальную роль играют понятия «вещество» и «энергия».

Понятия о веществе и энергии важны для понимания сущности организации и функционирования всех природных систем, начиная с элементарных частиц и заканчивая Метагалактикой. Поэтому их своевременное формирование и развитие определяет стратегию изучения неживых и живых объектов и природы в целом.

В качестве конкретной содержательной основы для осуществления межпредметных связей физики, химии, биологии и физической географии является процесс (понятие) фотосинтеза, роль которого в функционировании как живой, так и неживой природы исключительно важна.

Согласно современным представлениям процесс фотосинтеза условно делят на три этапа: фотофизический, фотохимический и биохимический. Фотофизический этап включает реакции поглощения электромагнитной энергии, запасания ее в виде электронного возбуждения и миграции в липопротеидном комплексе. В ходе фотохимического этапа энергия электронного возбуждения тухит в серии фотохимических (окислительно-восстановительных) реакций, приводящих к образованию лабильных, богатых энергией фотопродуктов (АТФ и  $\text{NADPH}+\text{H}^+$ ). На данном этапе происходит фотоокисление воды и выделение кислорода. На биохимическом этапе энергетические эквиваленты АТФ и  $\text{NADPH}+\text{H}^+$  используются для восстановления углекислого газа до углевода. Следовательно, в процессе фотосинтеза происходят уникальные преобразования вещества и энергии: из неорганических веществ образуются органические вещества; а внешняя неустойчивая энергия квантов света преобразуется (через ряд промежуточных форм энергии) во внутреннюю энергию химических связей вновь образованных органических веществ. По своей значимости подобные преобразования можно сравнить с соответствующим этапом предбиологической эволюции материи, на котором неорганическая форма движения материи трансформировалась в органическую форму движения, используя при этом внешние источники энергии.

Вышеизложенное позволяет констатировать, что для понимания сущности фотосинтеза необходимы знания о строении вещества на разных структурных уровнях: молекулярном, субмолекулярном, атомном, субатомном, которые обучающиеся получают в курсах физики и химии.

Преобразование вещества всегда сопровождается изменением энергии. В этом аспекте фотосинтез также является

уникальным процессом, в котором имеет место трансформация различных форм энергии: электромагнитной, электрической, тепловой, химической и др. Понимание механизмов этих переходов также возможно только на основе знаний об энергии, сформированных в курсах физики и химии.

Таким образом, можно утверждать, что основой для формирования понятия о фотосинтезе являются фундаментальные естественнонаучные знания о веществе и энергии, которые закладываются и развиваются в курсах физики и химии. Однако эти учебные дисциплины начинают изучаться позже биологии. Это приводит к тому, что в разделе «Растения» школьного курса биологии фотосинтез (и дыхание) рассматривается лишь со стороны его внешнего проявления. В основу изучения этого процесса положены выделение условий, необходимых для его протекания (свет, углекислый газ, вода, листья с хлорофиллом), и наблюдение результатов этого процесса (образование крахмала и выделение кислорода). Отсутствие физических и химических знаний не позволяет при изучении фотосинтеза перейти от явления к сущности: выяснить, какие химические реакции лежат в основе превращения вещества и какие формы энергии используются при этом. Все содержание данного физиологического понятия, в конечном счете, исчерпывается ощущениями и восприятиями, а за мышлением остается только роль суммирования, упорядочения ощущений и восприятий. Такой подход, по мнению И.Л. Новицкой, «характерен для эмпирической схемы обобщения и образования понятий, на основании которой у школьников формируется эмпирический тип мышления» [54, с. 28]. Это не соответствует уровню развития современной биологической науки и дидактики.

Попытка раскрыть содержание такого важнейшего физиологического понятия, как «фотосинтез» в разделе «Растения» без опоры на межпредметные связи курсов физики и химии, негативно сказывается на формировании естественнонаучного мышления в целом. Решение данной проблемы возможно только на основе кардинальной модернизации учебного плана, в котором школьные курсы физики и химии будут предшествовать курсу биологии. Координация учебных дисциплин на основе межпредметных связей обеспечит непрерывное развитие теоретических знаний, интеллектуальных умений и навыков.

Фотосинтез составляет основу анаболизма не только на уровне целого растения, но и на планетарном, поэтому неслучайно К.А. Тимирязев назвал фотосинтез самым уникальным процессом на Земле. Его идею о глобальной (космической) роли фотосинтеза для всего живого поддержал и развил В.И. Вернадский в своем учении о биосфере.

Космическая роль фотосинтеза объясняется тем, что это единственный процесс на Земле, идущий в грандиозных масштабах и связанный с превращением энергии солнечного света в энергию химических связей органических веществ. Эта космическая энергия запасается зелеными растениями и составляет основу для жизнедеятельности всех форм гетеротрофных организмов на Земле – от бактерий до человека, которые в совокупности составляют живое вещество биосферы.

Проблема круговорота вещества и баланса энергии в геосфере все больше привлекает внимание исследователей [40]. Идеи о принципах геологического и биологического круговорота веществ и их взаимообусловленности были заложены еще В.И. Вернадским, В.Р. Вильямсом, В.М. Гольдшмидтом и др. С момента формирования биосферы она является важнейшим

элементом географической оболочки Земли (геосферы) и, взаимодействуя с другими ее элементами – литосферой, атмосферой и гидросферой, во многом обуславливает развитие нашей планеты как единого целого. Ее единство, саморегулирование и развитие обеспечиваются вследствие непрерывного движения (круговорота) вещества и энергии в рамках биогеохимических циклов. Движущими силами этих циклов служит поток энергии солнца и (более широко – космоса) и деятельность живого вещества. Эти факторы приводят к перемещению огромных масс химических элементов, а также к концентрированию и перераспределению аккумулированной в процессе фотосинтеза энергии.

Фотосинтез играет исключительно важную роль в поддержании параметров не только биосферы, но и геосферы в целом. Данный процесс играет большую роль в поддержании температурного режима планеты Земля. Это обусловлено образованием озонового слоя (за счет кислорода, выделяющегося в процессе фотосинтеза), который поглощает жесткие ультрафиолетовые лучи, и поглощением углекислого газа, незначительное увеличение которого в атмосфере приведет к парниковому эффекту. Сложившееся соотношение тепла и влаги в атмосфере – основная причина существования географических зон на Земле, определяющих особенности режима рек, почвенно-растительного покрова и важные процессы формирования рельефа [89]. Нарушение же этого баланса может привести к серьезным геологическим катаклизмам. Благодаря фотосинтезу и непрерывно действующим циклическим круговоротам биогенных элементов создается устойчивая организованность биосферы Земли (геосферы), осуществляется ее нормальное функционирование.

Понимание сущности фотосинтеза на планетарном уровне имеет исключительно важное значения для формирования таких фундаментальных понятий физической географии, как «географическая оболочка Земли», «геосистема», «природный территориальный комплекс», которые тесно взаимосвязаны между собой.

Географическая оболочка Земли как сфера взаимодействия литосферы, атмосферы, гидросферы и биосферы имеет сложную пространственную дифференциацию. «Целостность географической оболочки определяется непрерывным энерго- и массообменом между сушей, атмосферой, Мировым океаном и организмами. Природные процессы в географической оболочке осуществляются за счет лучистой энергии Солнца и внутренней энергии Земли» [88, с. 289].

Основным понятием физической географии является понятие о природном территориальном комплексе, под которым понимают закономерное пространственное сочетание природных компонентов, образующих целостные материальные системы разных уровней (от географической оболочки до фации). «Иногда данное понятие отождествляется с геосистемой. Обычно включает участок земной коры с присущим ему рельефом, относящиеся к нему поверхностные и подземные воды, приземный слой атмосферы, почвы сообщества организмов. Между отдельными природно-территориальными комплексами и их компонентами осуществляется обмен вещества и энергии» [там же, с. 1058]. Из данного определения следует, что по характеру отражаемых связей это понятие является абстрактным, а по признаку общности и по количеству взаимосвязей между элементами в него входящими – фундаментальным. Вместе с тем

эти элементы разнохарактерны: физические, химические, биологические и географические, поэтому понятие «природно-территориальный комплекс» следует рассматривать как сложное естественнонаучное понятие, для раскрытия содержания которого необходимы физические, химические и биологические знания, роль последних во многом определяется степенью сформированности понятия о фотосинтезе.

Анализ содержания курсов ботаники и физической географии, преподающихся в 5–7 классах, проведенный А.Ю. Сикорскене позволил установить, что понятие о природно-территориальном комплексе сначала формируется на уроках ботаники при усвоении обучающимися *фактических знаний* о разнообразии связей растений с факторами внешней среды: почвой, воздухом, водой, солнечным светом, температурой воздуха.

Параллельно на уроках физической географии это понятие в том же 5 классе развивается при усвоении школьниками фактических знаний о природном комплексе своей местности. При этом школьники углубляют следующие фактические знания о факторах внешней среды: о почвах и почвообразовании, литологическом составе, формах рельефа, режиме тепла и увлажнения на примере одного биоценоза. Кроме того, связи этих факторов дополнительно изучаются школьниками при непосредственном их наблюдении на экскурсиях в природу.

На основании этого вышеуказанный автор делает вывод, что «преобладание сопутствующих межпредметных связей и непосредственное наблюдение изучаемых объектов создают объективные предпосылки для первоначального усвоения понятия о природно-территориальном комплексе» [52, с. 168].

Исследование, проведенное данным автором, свидетельствует: 1) ботанические знания вносят определенный вклад в формирование понятия «природно-территориальный комплекс»; 2) межпредметные связи между курсами ботаники и географии на этом уровне носят эмпирический характер.

Не умаляя достоинства уровня межпредметных связей между данными курсами на эмпирическом уровне, можно констатировать, что уже в рамках этих курсов можно было бы заложить элементы межпредметных связей на теоретическом уровне. Для этого, как было отмечено выше, необходимо, чтобы курсы физики и химии предшествовали курсу биологии. Это позволило бы в курсе ботаники изучить не только строение растений, но и их функции и, прежде всего, фотосинтеза. Понимание этого процесса на элементарном физико-химическом уровне дало бы возможность довести до обучающихся не только структурные связи между растениями и другими компонентами природного комплекса, но и функциональные, сущность которых связана с превращениями вещества и энергии. При последующем параллельном изучении курсов биологии и географии эти теоретические межпредметные связи углублялись бы и внесли должный вклад в формирование естественнонаучной картины мира.

Приведенные выше теоретические выкладки подтверждены в ходе педагогического эксперимента при реализации новой концепции естественнонаучного образования, основанной на опережающем изучении курсов физики и химии, разработанной А.В. Усовой [110]. Практика показала, что усвоение обучающимися фундаментальных естественнонаучных понятий о веществе и энергии в 5–6 классах создает научный фундамент для изучения природных систем разного уровня организации не только на эмпирическом уровне, но и на теоретическом. Такой

подход позволил поднять как содержательные, так и деятельностные основы межпредметных связей между курсами физики, химии, биологии и физической географии на новый уровень, что обеспечивает существенное повышение качества естественнонаучного образования в целом.

### ***2.1.8. Роль и место фотосинтеза в курсе общей биологии при формировании понятия «анаболизм»***

Основу системы теоретических знаний обучающихся составляют содержательные обобщения, среди которых ключевую роль играют наиболее общие понятия науки. В форме понятий достигается высшая степень человеческого мышления.

Формирование у школьников системы научных понятий является одним из важных элементов вооружения их системой научных знаний. Каждый учебный предмет включает систему взаимосвязанных научных понятий, от усвоения которых обучающимися зависит качество их знаний по предмету в целом. Без усвоения понятий не может быть усвоения законов и теорий. Усвоение таких понятий, как «материя», «движение», «взаимодействие», «вещество», «энергия», «информация», «форма», «причинно-следственные связи» и др. имеет важное значение для формирования у обучающихся диалектико-материалистического мировоззрения, понимания научной картины мира [116].

Овладение понятиями связано с активной мыслительной деятельностью обучающихся, выполнением таких мыслительных операций, как анализ и синтез, сравнение и сопоставление, абстрагирование и обобщение (на основе наблюдений, анализа

опытных данных и изучения научных теорий). «Мышление ... почти всегда движется в пирамиде понятий» – отмечал советский психолог Л.С. Выготский [15, с. 270]. Нельзя высказать ни одной мысли, ни одного суждения, не оперируя понятиями. Поэтому, чем лучше усвоены обучающимися формируемые у них понятия, тем легче строить суждения, умозаключения, тем легче они овладевают теоретическим мышлением.

Основными характеристиками понятия как логической категории являются его *содержание, объем, а также связи и отношения данного понятия с другими понятиями*. Ключевой характеристикой в определении понятия является его **содержание**.

Разработкой приемов определения понятий с древнейших времен занимались философы. Они понимали, что точно определить понятия, а, следовательно, знание правил определения понятий имеет огромное значение во всех областях науки и практики.

Платон (428–347 г. до н.э.), развивая сократовскую индукцию, приходит к мысли, что понятие есть существенное в вещах, общее, показывающее принадлежность к общему роду. Он считал, что определение должно указывать на принадлежность к общему (роду) и на специфическое различие, которое отличает данную вещь от всех других вещей рода. В последующем проблемой определения занимались Аристотель (384–322 г. до н.э.), Т. Гоббс (1588–1679) и другие философы.

Стратегию определения понятий очень точно и лаконично сформулировал Ф. Энгельс в своем знаменитом труде «Диалектика природы»: «*Единичность, особенность, всеобщность* – вот те три определения, в которых движется все «Учение о понятии» (курсив наш. – И.Т., С.П.). При этом восхождение от единичного к особенному и от особенного к всеобщему совершается

не одним, а многими способами...» [134, с. 194]. В свою очередь В.И. Ленин писал: «Что значит дать «определение»? Это значит, прежде всего, подвести данное понятие под другое, более широкое» [43, с. 149].

Значительный вклад в решение данной проблемы внесли такие ученые, как А.С. Арсеньев, В.С. Библер, Б.М. Кедров. Они отмечали, что «определить понятие отнюдь не означает перечислить признаки предмета (эта операция совершается лишь с мертвым понятием, вынутым из теоретического контекста). Определить понятие означает развить его, включить в узловую линию понятийных превращений. Это означает, далее, определить его через «место» в системе понятий, в теоретической структуре» [4, с. 53].

Общая стратегия формирования понятий, разработанная философами, перенесена в образовательную область и конкретизирована на психологическом и дидактическом уровнях Д.Н. Богоявленским, Н.М. Верзилиным, Е.К. Войшвилло, Л.С. Выготским, П.Я. Гальпериным, В.В. Давыдовым, Е.Н. Кабановой-Меллер, Н.А. Менчинской, А.В. Усовой и др.

Особого внимания в последние годы заслуживают работы А.В. Усовой. На основе многолетних исследований автора и анализа результатов, ранее выполненных исследований психологов и дидактов, определены условия успешного формирования научных понятий у обучающихся. Проецируя диалектический подход на методику формирования понятий, вышеназванный автор отмечает: *«Определить понятие – значит подвести данное видовое понятие под ближайшее родовое понятие и указать его видовые отличия»* [115, с. 38] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Таким образом, в самом широком смысле определение понятия есть *логическая операция*, в процессе которой раскрывается *содержание понятия*, т. е. указываются отличительные существенные признаки предметов и явлений, отображаемых в данном понятии.

Трудность в усвоении понятий обучающимися обусловлена рядом причин, главной из которых является низкий уровень у них умения *абстрагировать* и *обобщать*, отделять *существенное* от *несущественного*. Эта трудность интеллектуального характера может быть преодолена (или снижена) путем специально организованного их обучения выполнению *операций* анализа и синтеза, сравнения и сопоставления, на основе которых осуществляется выделение *общего, единичного* и *особенного* для класса предметов и отдельных объектов, входящих в данный класс.

«Сущность процесса усвоения понятий, по мнению А.В. Усовой, заключается в усвоении содержания (существенных признаков) понятия, его объема (совокупности объектов, охватываемых понятием) существенных связей и отношений данного понятия с другими понятиями системы. Овладение понятием предполагает еще и овладение умением оперировать им в решении разнообразных задач познавательного и практического характера» [там же, с. 87].

«В процессе образования понятий происходит движение понятий в двух направлениях: 1) от отдельных восприятий и представлений – к простейшим общим понятиям и от них посредством дальнейшей абстракции – к более высоким, более общим понятиям; 2) от общих и абстрактных понятий – к многообразию действительности – к конкретизации понятий» [там же, с. 84].

При изучении школьного курса биологии наибольшие затруднения обучающиеся испытывают при усвоении физиологических понятий и, прежде всего, такого понятия, как «фотосинтез». Вышеобозначенная закономерность во многом определяет методику формирования этого понятия.

В основе фотосинтеза лежат явления превращения вещества и энергии. Понятия «*вещество*» и «*энергия*» являются ключевыми для всего естествознания поэтому, при формировании фундаментальных общебиологических понятий «*обмен веществ*», «*ассимиляция*» (на организменном уровне) или «*метаболизм*», «*анаболизм*» (на клеточном уровне), они выполняют, прежде всего, методологическую функцию. В свою очередь, обозначенные общебиологические понятия являются родовыми понятиями по отношению к понятию о фотосинтезе. Таким образом, раскрытие содержания понятия о фотосинтезе возможно лишь на основе содержания указанных выше фундаментальных естественнонаучных понятий о веществе и энергии, а также – общебиологических понятий – обмене веществ, ассимиляции, метаболизме и анаболизме. В свою очередь содержание понятия «фотосинтез» позволяет углубить и расширить естественнонаучные и общебиологические понятия, указанные выше.

На молекулярном уровне важнейшее общебиологическое понятие «обмен веществ» («метаболизм») рассматривается в школьном курсе общей биологии при изучении строения и функции клеток. Являясь фундаментальным для всего курса биологии, оно само формируется на основе ключевых биологических понятий. К ним, прежде всего, следует отнести такие как: анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание, биологическое окисление и др. Вполне естественно, что от понимания сущности этих понятий, их логической взаимосвязи будет зависеть

глубина и правильность сформированности итогового понятия – обмена веществ. Ключевым звеном обмена веществ (метаболизма) является анаболизм, поэтому и раскрытие сущности понятия «обмен веществ» зависит от степени сформированности понятия «анаболизм».

Попытка научного формирования понятия «анаболизм» в школе на молекулярной основе предпринимается в разделе «Общая биология». Это понятие закладывается на примере биосинтеза белка, и для этого есть определенные аргументы. Однако, по нашему мнению, такой подход к формированию понятия «анаболизм» не является оптимальным. Более рациональным будет подход, когда формирование понятия об анаболизме будет осуществляться на примере фотосинтеза. В качестве убедительного довода этой точки зрения является само определение анаболизма, зафиксированного в биологическом энциклопедическом словаре: «...Наиболее важный процесс анаболизма, имеющий планетарное значение – фотосинтез» [7, с. 25]. Поэтому не случайно основоположник учения о фотосинтезе К.А. Тимирязев назвал этот процесс самым уникальным на Земле. Это, по сути, единственный процесс на нашей планете, идущий в грандиозных масштабах, по созданию органических веществ из неорганических углекислого газа и воды с использованием солнечной энергии. По существу процесс фотосинтеза составляет основу анаболизма не только растительных клеток, содержащих хлорофилл, но и всех остальных клеток, лежащих в основе строения всех гетеротрофных организмов. В процессе фотосинтеза происходит, если можно так выразиться, *первичный анаболизм* – образование органических молекул (углеводов) – из неорганических веществ. Эти органические вещества являются резервом пластического и энергетического материала, который

после катаболических процессов (в основном дыхания) преобразуется в промежуточные метаболиты, углекислый газ и воду, а энергия, которая при этом освобождается, используется для синтеза АТФ.

Приведенные рассуждения позволяют заключить, что формирование понятия «анаболизм» следует начинать с изучения процесса фотосинтеза, который является первоисточником органических веществ, преобразующихся в процессе катаболизма (в основном при дыхании). Являясь двумя звеньями углеводного обмена, фотосинтез и дыхание обеспечивают энергетическим материалом и промежуточными метаболитами все остальные процессы анаболизма: биосинтез нуклеиновых кислот, белков, липидов, полисахаридов и т.д.

### ***2.1.9. Методологическая роль определений фотосинтеза***

Методологическую роль в формировании содержания понятия «фотосинтез» во многом должны играть его *определения*. Однако те определения, которые приводятся в учебниках и словарях, не отражают в должной мере те общие признаки (механизмы), которые лежат в основе этого процесса. Определения фотосинтеза, которые приводятся в энциклопедиях либо слишком длинные, как, например, в Биологическом энциклопедическом словаре [7, с. 680], поэтому мало похожи на определение; либо слишком общие, как в Советском энциклопедическом словаре [88, с. 1441], отражающие лишь одну из сторон этого процесса.

Еще неопределеннее складывается ситуация с определениями фотосинтеза, которые приводятся в школьных учебниках

биологии. Так в учебнике «Общая биология» под редакцией В.Б. Захарова приводится следующее определение фотосинтеза: «Фотосинтезом называют образование органических (и неорганических) молекул из неорганических за счет использования энергии солнечного света» [55, с. 128]. В учебнике общей биологии под редакцией А.О. Рувинского даже не приводится общепринятое уравнение фотосинтеза, а само определение этому понятию (если его вообще можно считать определением) дается следующее: «...биосинтез, происходящий благодаря энергии света, называют *фотосинтезом*» [57, с. 66].

Не лучше обстоит дело с определением фотосинтеза даже в таком фундаментальном учебном пособии, как «Биохимия и физиология фотосинтеза», авторами которого являются такие видные ученые, как Б.А. Рубин и В.Ф. Гавриленко. Они дают следующее определение этому процессу: «Фотосинтез – процесс, в ходе которого осуществляется первичное становление пластических и энергетических ресурсов жизни» [там же, с. 5]. В данном пособии достаточно глубоко раскрыты механизмы всех этапов фотосинтеза, однако не уделено должного внимания общему определению этого процесса, которое должно выполнять методологическую функцию при изучении конкретных механизмов.

Попытка дать определение фотосинтезу в одной формулировке предпринята и в таком фундаментальном вузовском учебнике физиологии растений, автором которого является В.В. Полевой: «Фотосинтез – это процесс трансформации поглощенной организмом энергии света в химическую энергию органических (и неорганических) соединений» [65, с. 59]. Анализ данного определения также позволяет констатировать, что

оно не отличается от вышеприведенных определений ни своей общностью, ни глубиной.

Следует отметить, что все определения, приведенные выше, не выделены курсивом. Это, по-видимому, может косвенно свидетельствовать о том, что их авторы и не претендуют на их полноту.

Определение понятия является ступенькой в познании окружающего мира. Но для того, чтобы эта ступенька вела нас к более глубокому пониманию предметов и явлений, их связей и отношений, надо помнить, что *краткое определение не отражает предмета или явления полностью*. Имея это в виду, В.И. Ленин говорил, что слишком *короткие определения*, хотя и удобны, так как подытоживают главное, все же недостаточны, раз в них надо особо выводить весьма существенные черты того явления, которое надо определить.

Таким образом, попытки дать определение фотосинтезу в одной формулировке не состоятельны. Это обусловлено, во-первых, тем, что данный процесс уникален не только по своей значимости, но и по своей сложности. (В основе этого процесса лежат физические и химические явления). Следовательно, отразить важнейшие аспекты данного процесса в общей форме одной формулировкой крайне затруднительно. Во-вторых, авторы определений, зачастую не понимают в полной мере всех тех энергетических преобразований, которые лежат в основе этого процесса.

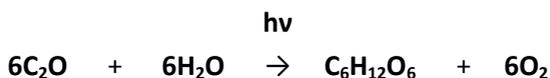
Вышесказанное позволяет изменить сам подход к составлению определений фотосинтеза.

Как уже было отмечено выше, в основе фотосинтеза, как и обмена веществ в целом, лежат явления превращения *вещества и энергии*. Отразить же сущность явлений превращения ве-

щества и энергии в одном определении достаточно сложно. Выход из этого положения представляется следующим: необходимо вначале дать общее определение фотосинтезу, в котором зафиксируем на уровне явлений превращение **вещества и энергии** (то есть укажем только начальные и конечные составляющие этого процесса); а затем по следующим двум определениям более подробно отразить сущность механизмов *превращения вещества и превращения энергии*.

Использование такого подхода позволило дать три определения фотосинтезу, которые приведены ниже.

*Первое определение* отражает явленческую сторону фотосинтеза, указывая лишь на начальные и конечные продукты этого процесса, условия его протекания, а также обозначает те явления, которые лежат в основе этого процесса (превращения **вещества и энергии**). Поэтому приведенное ниже уравнение реакции позволяет дать определение фотосинтезу лишь в самом общем виде, то есть отразить его явленческий аспект.



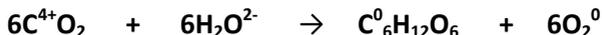
**хлорофилл**

С общей точки зрения: *«Фотосинтез – это процесс образования органических веществ и кислорода из неорганических – углекислого газа и воды, который протекает под воздействием квантов света и при участии хлорофилла».*

Вполне логично, что после этого определения, в котором обозначены явления, лежащие в основе этого уникального процесса (*превращения вещества и энергии*), следует дать еще два определения, которые в самом общем виде отразят сущность механизмов, лежащих в основе этих превращений.

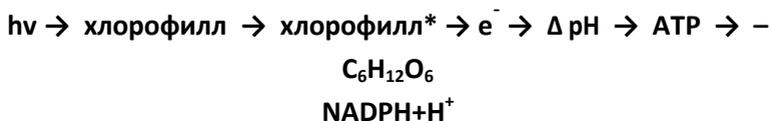
*Второе определение* раскрывает в общем виде природу механизмов, лежащих в основе образования органических веществ (и кислорода) из неорганических веществ (углекислого газа и воды). В основе механизмов преобразования вещества лежат окислительно-восстановительные реакции. Обозначив в уравнении фотосинтеза степени окисления атомов, входящих в состав неорганических и органических молекул, можно выяснить, какие из них восстанавливаются, а какие – окисляются.

Данное определение отражает генетическую связь химической формы движения материи с биологической формой движения.



С химической точки зрения: *«Фотосинтез – это окислительно-восстановительный процесс, в котором происходит восстановление углерода углекислого газа до углерода углеводов и окисление кислорода воды до свободного кислорода».*

*Третье определение* отражает в самом общем виде сущность основных энергетических переходов (превращения энергии), которые имеют место в процессе фотосинтеза. В приведенной авторской модели (схеме) они отражены следующим образом:



На основе этой схемы можно дать определение фотосинтезу с энергетической точки зрения.

С энергетической точки зрения: *«Фотосинтез – это процесс поэтапной стабилизации внешней неустойчивой энергии квантов света во внутреннюю устойчивую энергию».*

*химических связей органических веществ через промежуточные формы энергии:  $e^-$ ,  $\Delta pH$ , АТФ и NADPH<sub>2</sub>, при участии хлорофилла».*

Приведенные определения свидетельствуют, что уникальность фотосинтеза обусловлена не только его огромной значимостью для всего живого, но и его сложностью. Как биологическое явление оно содержит «в скрытом виде» явления физические и химические, которые в своей совокупности приводят к появлению такой важнейшей биологической функции, как фотосинтез.

Анализ содержания этих определений, понимание и осознание явленческой и сущностной сторон фотосинтеза, позволяет использовать их как методологическую основу для более детального изучения конкретных механизмов отдельных этапов и фаз фотосинтеза и их взаимосвязи.

### ***2.1.10. Некоторые аспекты формирования понятия «энергетический обмен» в школьном курсе общей биологии***

В основе биологической формы движения материи лежат четыре уникальных явления, которые тесно сопряжены. Такими 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 по сравнению с предыдущими. 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 – *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*» [25, с. 535] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

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 во многом 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 невозобновляемых форм энергии (нефть, природный газ, уголь), сколько с расширением использования энергии ветра и, особенно, солнечной энергии. Новые энергетические концепции детерминируют не только соответствующие 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 понятия «энергия» и «вещество» являются фундаментальными для всего естествознания [110] в силу того, что от уровня их сформированности будет зависеть и уровень понимания сущности организации, функционирования и эволюции материи в целом. Особую роль данные понятия играют 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» [10, 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, анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание, биологическое окисление и др. Вполне естественно, что от понимания сущности этих понятий, их логической взаимосвязи будет зависеть глубина и верность 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 (В.Б. Захаров и др., 2000; А.А Каменский и др., 2006). Одним из таких недостатков является неверная интерпретация понятия «энергетический обмен». Следует отметить, что в справочной литературе такое понятие, как самостоятельное вообще не выделяется [7; 79; 86]. Не выделено оно и в предметных указателях солидных изданий отечественных и зарубежных авторов [1; 39; 91].

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)» [87, 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 являются причиной того, что в научной литературе и вузовских учебниках оно почти не применяется.

Для характеристики энергетических преобразований, происходящих в растительной и животной клетке, 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 [1; 39; 42; 65]. Не используют данное понятие и авторы школьного учебника с углубленным изучением биологии под редакцией А.О. Рувинского [57].

Широко используют понятие «энергетический обмен» в школьных учебниках по общей биологии такие авторы, как: А.А. Каменский и др., [28]; В.Б. Захаров и др., [55]. Из них наиболее используемым учебником в школах является «Общая

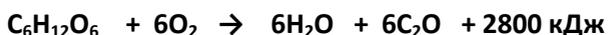
биология» под редакцией В.Б. Захарова, поэтому проанализируем логику использования данного понятия на примере этого учебника [55]. Понятие «энергетический обмен» вводится в главе 4 «Метаболизм – основа существования живых организмов». Подраздел этой главы называется «Энергетический обмен – катаболизм». 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*» [88, с. 905] (курсив наш. – И.Т., С.П.). 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 (на стр. 118) является выбор не совсем удачного определения метаболизма (или его интерпретации

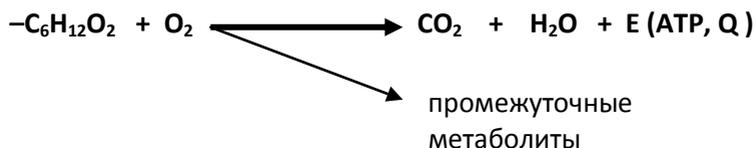
авторами), в котором суть ассимиляции сведена *только* к превращениям вещества, а диссимиляции – к превращениям энергии [55]. Попутно следует отметить, что для общей характеристики метаболизма следовало использовать не понятия *ассимиляции и диссимиляции*, а более точные – *анаболизма и катаболизма*. 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 [81, с. 106].

Существенной ошибкой авторов данного учебника является сведение катаболизма только к энергетическому обмену. Подобную ошибку, по-видимому, 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 [7, 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 для синтеза 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 школьников, но и учителей:



На это особо указывает известный биохимик В.Л. Крето-вич: «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» [39, 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 вышеупомянутый 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]. 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 как школьниками, так и студентами, роль отдельных стадий дыхания также сводится только к получению АТФ. Это в полной мере относится к учебникам таких отечественных авторов, как В.Б. Захаров и др.; Ф.Ф. Каменский и др. К сожалению, не избежал данной ошибки и 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 школьникам. Это касается и весьма солидного учебника «Введение в биологию» (П. Кемп и др., (1988); широко известного трехтомника «Биология» (Н. Грин и др., 1990). 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. Не избежал обсуждаемого недостатка в полной

мере и фундаментальный трехтомный учебник Б. Албертса и др., (1994) «Молекулярная биология клетки», 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 (1993), 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, обоснованных авторами, является сопряжение. Методологическая ценность категории сопряжения данным автором раскрыта на примере разбора сущности сопряженных механизмов превращения вещества и энергии в процессе дыхания, лежащих в основе жизнедеятельности всех биологических объектов, обитающих на нашей планете [100].

Приведенные аргументы и логические рассуждения позволяют заключить, что в основе таких фундаментальных биологических процессов, как обмен веществ (метаболизм), анаболизм, катаболизм, фотосинтез, дыхание и др. лежат явления превращения *вещества и энергии*, находящиеся между собой во взаимосвязи. 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 – непонимание большинством школьников (и даже студентов) сущности вышеназванных процессов, что, безусловно, негативно сказывается на формировании у них биологического и естественнонаучного мышления в целом.

### ***2.1.11. Мысленный эксперимент как сопряжённый метод рациональной познавательной деятельности обучающихся при изучении фотосинтеза***

Формирование методологической культуры у школьников и студентов является одной из приоритетных задач современного образования. Об этом свидетельствуют результаты международного исследования качества математического и естественнонаучного образования TIMSS. В тех странах, где уделяется усиленное внимание вопросам методологии научного познания, качество подготовки обучающихся по математике и естествознанию значительно выше [51].

К настоящему времени более разработанной (в сравнении с частно-научной методологией) оказывается общенаучная методология, в рамках которой достаточно широко исследованы *системный (системно-синергетический) подход и метод моделирования*. Несмотря на достаточно глубокие теоретические исследования и полученные результаты в этой области, практическое применение системного подхода и моделирования как методов научного познания, особенно в области

школьного образования, является эпизодическим и не приносит ощутимых результатов на пути повышения качества знаний обучающихся. Это обусловлено как минимум двумя причинами: 1) значительная часть учителей не понимают *сущности* данных методологий и их иерархической связи с другими методами познания; 2) учителя не имеют должных навыков и умений для конкретизации данных методологий, которые должны быть положены в основу преподавания (изучения) специальных дисциплин, т. е. таких методов познания, которые будут использованы при изучении данного курса, его раздела, темы. В итоге, системный подход и метод моделирования лишь декларируются в школьной практике обучения, а по этой причине и не приносят ощутимых результатов.

Подобная ситуация имеет место и в высшем образовании, где, как указывает Л.М. Фридман, содержанием вузовского обучения является вчерашний день соответствующих наук, т.е. уже устоявшиеся положения, факты и теории этих наук. В то время как «...в высшем образовании должны получить приоритет *методологические основы содержания обучения*, овладение студентами основными познавательными средствами, методами и приемами изучаемых наук, с тем чтобы создать необходимую базу для непрерывного самообразования и самосовершенствования» [122, с. 121] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Из указанных выше общенаучных методологий особенно слабо используется *метод моделирования*. Результаты массовых обследований свидетельствуют, что наши школьники и даже студенты имеют весьма смутные и ограниченные представления о моделировании и моделях. Хотя «... результаты психологических исследований показывают, что явное знакомство учащихся с модельным характером науки, с понятиями

моделирования и модели не только способствует формированию у них правильного научного мировоззрения, не только обогащает их методологический аппарат, но и существенно меняет отношение школьников к учебным предметам, к учению, делает их учебную деятельность более осмысленной и продуктивной» [там же, с. 91].

Моделирование как метод научного познания в настоящее время востребован как никогда ранее. Это детерминировано двумя обстоятельствами: переходом науки и, прежде всего, естествознания к изучению глубинных свойств различных форм движения материи; разработкой философами и методологами теоретико-методологических основ моделирования, выявлением специфики таких *гносеологических функций моделей*, как *отражение, абстрагирование, интерпретация, объяснение* и т. п., а также выяснением роли и места моделей в познании с точки зрения *диалектико-материалистической теории отражения*.

Одной из форм теоретического моделирования процессов или систем, не осуществимых в данный момент по техническим или другим причинам, является **мысленный эксперимент** [119], который рассматривают как своеобразный прием *теоретического мышления*, как форму **рациональной** (умственной) **деятельности** познающего субъекта. Основанием для этого служит тот факт, что *структура мысленного эксперимента адекватна структуре эксперимента реального*.

Указывая на аналогию между реальным и мысленным экспериментами, А.К. Бенджамин отмечает: «Мы не только можем создавать образы более или менее произвольно, мы их можем также видоизменять и затем выяснять, какие изменения могут вытекать в качестве результата тех или иных особенностей.

Мы можем осуществлять воображаемый эксперимент, вводя превращения в образы и затем отмечая, какое дальнейшее содержание может получить образ с точки зрения этих изменений. Эта процедура во многом аналогична физическому эксперименту; образы поддаются манипуляции так же, как физические объекты» [137, с. 256].

Образы, о которых говорит А.К. Бенджамин, это не просто чувственные образы-представления, выделяемые психологами, и не отвлеченные понятия, которыми оперирует понятийное мышление, *это мысленные модели*. Построение мысленной модели является необходимой, но не единственной операцией, входящей в структуру мысленного эксперимента.

Реальный эксперимент начинается в своей практической стадии с построения определенной экспериментальной установки и подготовки объекта, а модельный эксперимент – с построения вещественной, материальной модели. Нечто подобное имеет и в мысленном эксперименте, когда *создается идеализированная модель*, с той лишь разницей, что это процесс, как и весь «эксперимент» в целом, есть процесс мысленный.

Включение мысленной операции построения идеализированной модели объекта, над которой затем производится воображаемое экспериментирование, не является просто данью поверхностной аналогии, а определяется тем обстоятельством, что такая модель должна замещать объект, отражая его особенности, существенные для экспериментирования. Поэтому важно всегда отдавать себе отчет, по каким правилам построена модель, в какой форме в ней реализуется отражение, какие стороны объекта в ней отражены.

Для того чтобы мысленное экспериментирование имело какой-то познавательный смысл и объективное значение, его объект должен быть построен так, чтобы все его основные характеристики, свойства, особенности находились в соответствии

с наблюдениями, экспериментальными данными о подобном объекте, а *методы идеализации и другие приемы построения модели – в соответствии с принципами материалистической философии и известными законами частных наук.*

В ходе построения модели, с которой будут «экспериментировать», несмотря на упрощения, идеализацию и другие преобразования, она действительно будет замещать подлинный объект, репрезентировать мысленно и именно его. Как только модель вовлекается в сферу рациональной деятельности в качестве *ее средства или орудия*, эта деятельность приобретает характер или форму умственного эксперимента (рис. 10). Из всех признаков мысленного эксперимента *самым существенным является модель: построение ее, изучение, изменение и другие мысленные операции над нею.*

В число основных *операций*, составляющих мысленный эксперимент, должны быть включены следующие:

1) *построение* по определенным правилам мысленной модели (идеализированного «квазиобъекта») подлинного объекта изучения; 2) *построение* по таким же правилам *идеализированных условий*, воздействующих на модель, включая создание идеализированных «приборов», «инструментов»; 3) *сознательное и планомерное изменение* и относительно свободное и произвольное комбинирование условий и их воздействие на модель; 4) *сознательное и точное применение* на всех стадиях мысленного эксперимента объективных законов и использование фактов, установленных в науке, благодаря чему исключаются абсолютный произвол, необузданная и необоснованная фантазия. В этих пунктах *имплицитно* содержатся такие особенности мысленного эксперимента, как *идеализация, наглядность* в соединении с требованиями теории, наличие *творческого воображения* и научной фантазии.

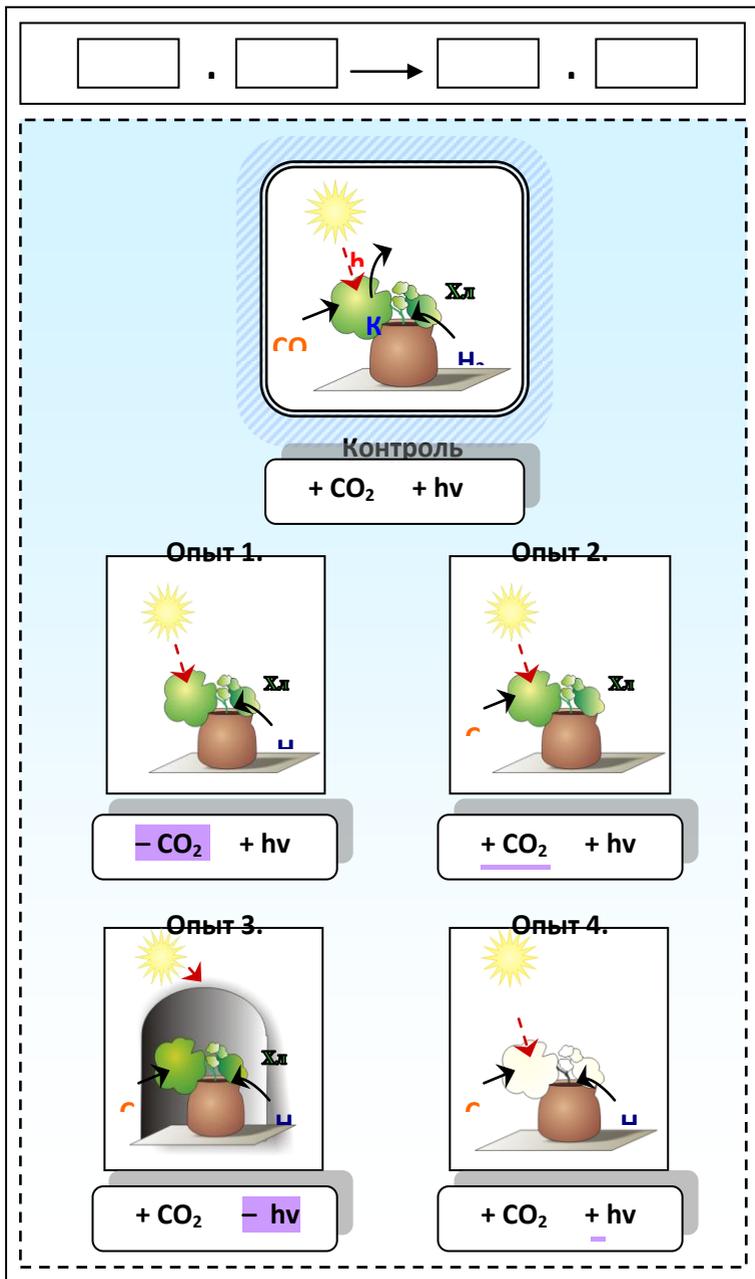


Рис. 10. Основные условия фотосинтеза и его продукты

Эти моменты входят в определение постольку, поскольку *использование мысленной модели и мысленные операции с ней выступают как основной и существенный признак мысленного эксперимента. Модель, следовательно, позволяет использовать эксперимент как метод познания на теоретическом уровне и с помощью его выявить сущностные связи*, однако при этом необходимо выполнять определенные логические требования и следовать общеметодологическим принципам материализма и диалектики. Несмотря на сходство между реальным и умственным экспериментом, между ними имеется и различие: *реальный эксперимент представляет собой форму объективной материальной связи сознания с внешним миром, тогда как умственный эксперимент является специфической формой теоретической деятельности субъекта* [132].

Ценность мысленного эксперимента заключается не столько в том, что он служит иллюстрацией физических и химических принципов, *делая их наглядными*, и не в том, что он *предваряет реальный эксперимент*, а в том, что, будучи проявлением *творческой активности мышления*, позволяет исследовать ситуации, которые по тем или иным причинам не могут в данный момент времени быть осуществлены практически.

«Познавательное значение мысленного эксперимента аналогично значению мысленных моделей. Более того, оно в значительной степени совпадает с последним в силу того обстоятельства, что модель включена в мысленный эксперимент в качестве его воображаемого объекта. Этим, в частности, и определяется отмеченная способность умственного эксперимента выполнять роль иллюстрации к тем или иным абстрактно-теоретическим положениям» [там же, с. 218–219]. Однако модель как элемент мысленного эксперимента привносит с собой

и другие познавательные функции. Она является **средством закрепления** тех **идеализаций и упрощений**, которые столь характерны для него. Вполне естественно, что абстракция потенциальной осуществимости в мысленном эксперименте характерна не только для объекта-модели, но и для средств воздействия на эту модель, а также воображаемых измерительных или регистрируемых инструментов [132].

Структура мысленного эксперимента значительно упрощается, и во многих случаях она мало чем отличается от модели. *В пределе понятие мысленного эксперимента и понятие мысленной модели (мысленного моделирования) совпадают.* А это значит, что все отмеченные выше познавательные функции мысленных моделей так же, как и свойственная им наглядность, выполняются в конечном счете и мысленным экспериментом.

По мнению В.А. Штофа, «формой связи мышления с чувственностью, не наглядных элементов знания с наглядными, соответствующей требованиям и потребностям науки, является *построение моделей*» [132, с. 280]. И хотя «эта функция не является ни единственной, ни главной, ни даже свойственной всем моделям, но она существует, облегчая понимание формальных теорий, и является особенно важной в процессе преподавания и обучения» [там же]. Ее назначение – сделать любой предмет познания по возможности более наглядным. Построение моделей, таким образом, *отражает диалектическую структуру мира, которая выступает как единство сущности и явления.* При этом происходит «сопряжение» эмпирических и теоретических методов исследования объектов материального мира, что обеспечивает более глубокий уровень их познания.

Средствами построения **идеальных или мысленных моделей** являются **представления**, возникающие на основе *памяти*

как воспроизведение прошлых восприятий, прошлого опыта и формирующиеся в процессе *воображения*, которое творчески и относительно свободно оперирует образами, комбинирует их и т.д. Уже обычные представления, с гносеологической точки зрения, есть не только наглядность, но и форма обобщения и отвлечения. По выражению С.Л. Рубинштейна, «представления являются ступенькой или даже целым рядом ступенек, ведущих от единичного образа восприятия к понятию и обобщенному представлению, которым оперирует мышление [83, с. 261–262].

Если *память* только *воспроизводит прошлый опыт*, то есть выдает информацию, которая хранится в ней, то *для воображения* характерно ее *преобразование*, обуславливающее дальнейшее развитие активной, преобразующей деятельности человеческого сознания. Разделение между продуктами памяти и воображения является условным в силу того, что образы, извлекаемые из памяти, несут в себе следы определенной переработки ранее полученной информации; и это выражается в различной степени ее обобщенности.

Особенностью *мысленных научных моделей*, применяемых в *физике, химии, биологии и других науках*, является то, что они порождаются не столько памятью, сколько *воображением*. В модели *сопряжены диалектические противоположные формы познания в единое целое*, ее следует рассматривать как *качественно новую, специфическую форму и средство познания объективной реальности, позволяющие быстрее и глубже проникнуть в сущность изучаемых явлений в науке и изучения их в предметах естественнонаучного цикла*. Отражение этого единства в познании – между наглядным восприятием и представлением явлений и не наглядным отображением их сущностей в понятиях и суждениях (теориях) возможно в рамках *мысленной модели*. «Только при помощи модели можно сделать

*сущность наглядной*, но не в том смысле, чтобы ее непосредственно узреть, увидеть, ощутить, а в том, чтобы построить *чувственный образ* (представление, с психической точки зрения) явления или совокупности явлений (фрагмента действительности)... В таком мысленно преобразованном явлении, которое выступает уже в качестве модели, сущность как бы «просвечивается», и в этом смысле мы можем говорить, что *при помощи модели можно приблизиться к наглядному постижению сущности*» [132, с. 291–292] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Приведенные теоретические рассуждения, а также их экспериментальная проверка на практике дают основание заключить, что при изучении физиологических процессов весьма эффективным методическим приемом может служить мысленный эксперимент, который, являясь эффективным методом рациональной деятельности, позволяет формировать знания обучаемых на теоретическом уровне.

Разновидностью мысленного эксперимента, по видимому, можно считать «эксперимент в картинках». На рисунке представлено пять образно-знаковых моделей, разработанных нами, которые мы используем со школьниками и студентами при изучении процесса фотосинтеза. Поэтапное конструирование этих моделей школьниками и студентами (под руководством учителя или преподавателя) позволяет проводить им мысленный эксперимент с целью выявления основных условий протекания фотосинтеза и его продуктов.

Ответственным этапом при планировании эксперимента в «картинках» под названием «Основные условия фотосинтеза и его продукты» является разработка схемы эксперимента и методики его проведения. Для реализации этой цели была предельно проделана следующая работа.

1. Выбран удобный объект исследования – комнатное растение.

2. На основе практических и теоретических знаний обучающихся определены основные условия для протекания процесса фотосинтеза. Наличие:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $h\nu$ , хлорофилла (Хл).

3. Определены главные продукты фотосинтеза:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  и крахмал.

4. Определен индикатор наличия крахмала (йодная проба).

5. Разработана однофакторная схема эксперимента, в которых варианты опытов различались качественно. При этом важно было выдержать принцип единственного различия, правильно выбрать контрольный вариант (стандарт) и определить сопутствующий ему вариант опыта с *изменяющимся одним условием*. Схема эксперимента включала четыре варианта опытов:

Контроль	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3	Опыт 4
условия:	условия:	условия:	условия:	условия:
$\text{CO}_2$	$-\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$	$\text{CO}_2$
$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}$	$-\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}$
$h\nu$	$h\nu$	$h\nu$	$-h\nu$	$h\nu$
Хл	Хл	Хл	Хл	$-\text{Хл}$

6. К каждому варианту опыта изготавливался рисунок, который отражал реальный эксперимент.

• Наличие или отсутствие крахмала в вариантах опыта обозначалось значками: **К+** и **К-**

После проведения эксперимента делались выводы по каждому варианту опыта. На основе частных выводов формулировался общий вывод и составлялось общее уравнение фотосинтеза.

Таким образом, методологическое осмысление понятий модели и методов моделирования позволяет выявить *методологические функции моделей и их отношение к теоретическому уровню знания*. В нашем исследовании овладение обучаемыми методом моделирования не только обогащало их методологический аппарат, но и вооружало научным методом познания и современным учебным средством для многих дидактических целей. Усвоение школьниками и студентами метода моделирования как общенаучной методологии познания явлений и объектов неживой и живой природы, изучаемых в курсах физики, химии и биологии способствовало более глубокому пониманию сущности важнейшего атрибута материи – *отражения* и формированию *диалектического стиля мышления*.

## **2.2. СОПРЯЖЕНИЕ КАК МЕТОДОЛОГИЯ РАЗВИТИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОНЯТИЙ «ФОТОСИНТЕЗ» И «ДЫХАНИЕ» У СТУДЕНТОВ ВУЗА**

### ***2.2.1. Функциональный подход – важнейшая методология изучения физических, химических, и биологических явлений***

*Одной из главных целей естественнонаучного образования, как и любого другого, является способность выпускников школ и вузов к самообразованию и непрерывному самообучению. Такая необходимость, как известно, продиктована все возрастающими темпами научно-технической революции, в результате которой технические и технологические основы различных производств морально устаревают через 5–6 лет, то есть за период обучения студентов в вузе.*

По мнению Л.М. Фридмана, разрешение этого противоречия возможно, но «для этого в высшем образовании должны получить приоритет *методологические основы содержания обучения*, овладение студентами основными познавательными средствами, методами и приемами изучаемых наук с тем, чтобы создать *необходимую базу для непрерывного самообразования и самосовершенствования*. И лишь на базе методологических основ в учебных предметах вуза должно изучаться *все остальное содержание обучения как конкретизация и реализация этих основ*» [122, с. 121].

Вполне очевидно, что знакомство с научными методологиями при изучении тех или иных предметов следует начинать еще в школе. На этом особо акцентируют внимание авторы экспериментальной программы по биологии, усматривая в этом научный инструмент познания объективной реальности [34]. Однако следует признать, что реально, даже при обучении в вузе, подавляющая часть студентов не владеет научными методологиями в должной мере. В большинстве случаев они затрудняются дать определение этому понятию, не говоря уже о знании научного потенциала той или иной конкретной методологии, которое в науке служит инструментом исследования объектов и явлений окружающего мира. В этой связи уместно привести одно из основных определений методологии: «Методология – совокупность методов, применяемых в какой-либо области человеческой деятельности» приемов, используемых при изучении объектов и явлений материального мира» [38, с. 217 ]. В данном определении имплицитно выражена иерархичность научных методологий (всеобщих, особенных и частных), из которой следует необходимость понимания взаимосвязи между

ними, умения выбора и применения того или иного метода при изучении объектов и явлений неживой и живой природы.

Как известно, всеобщим (философским) методом мышления, соответствующим уровню современной науки, является материалистическая диалектика. Однако диалектика не является единственным методом мышления. Ее основные принципы – *материального единства мира и развития* – предполагают целую систему общенаучных, специальных, частных методов и различных методик. Как подчеркивает П.В. Копнин, «без этой системы различных методов не могла бы возникнуть и функционировать диалектика, которая питается этими методами и в свою очередь питает их» [37, с. 176].

В процессе исторического развития человеческого знания менялись не только философия и различные специальные науки, но и взаимоотношение между философией и этими науками. Философски выраженное мировоззрение должно быть конкретизировано естественнонаучной картиной мира, интегрирующей в единое целое наиболее принципиальные и характерные достижения наук о природе. Результатом такого творческого взаимодействия между философией и естествознанием явилось рождение *системного подхода*, который, конкретизируя принципы диалектического материализма, становится наиболее универсальной методологией современных научных исследований и формой мировоззрения.

Существенную роль в конкретизации принципов диалектического материализма и системного подхода играет относительно молодая интегративная наука – кибернетика. Она возникла на стыке математики, техники, нейрофизиологии и ее интересовал целый класс систем, как живых, так и неживых, в которых существовал механизм обратной связи [19]. По своей

специфике кибернетику как науку можно сравнить с термодинамикой и синергетикой, которые, как и она, дают общенаучные понятия, используемые в различных областях науки.

Специфика и оригинальность кибернетики в том, что она изучает не вещественный состав систем и не их структуру (строение), а результаты работы данного класса систем. Основатель этой науки Н. Винер впервые сформулировал понятие «черного ящика» как устройства, «которое выполняет определенную операцию над настоящим и прошлым входного потенциала, но для которого мы не обязательно располагаем информацией о структуре, обеспечивающей выполнение этой функции [12].

Системы с обратной связью в кибернетике изучаются по их реакциям на внешнее воздействие, другими словами, по тем *функциям*, которые они выполняют. Наряду с субстратным (вещественным) и структурным подходами кибернетика ввела в научный обиход *функциональный подход* как еще один *вариант системного подхода* в широком смысле слова.

Попутно следует отметить, что огромная значимость кибернетики состоит и в том, что в рамках этой науки понятие «*информация*» получило официальный статус в естествознании. Как мера организованности систем информация противоположна понятию энтропии как меры неорганизованности. Вместе с тем эти явления находятся в диалектическом единстве и во многом определяют развитие материального мира.

Значение кибернетики признано в различных сферах: философии, социологии, технике, естествознании и др. Ее методологическое значение исключительно важно при изучении процессов, протекающих в биологических системах, которые являются очень сложными, и которые невозможно описать существующими математическими теориями. Принципы управления и

связи, установленные кибернетикой на простых технических системах, используются при выдвижении гипотез и создании *моделей* о механизме работы качественно более сложных систем: живых организмов, мышления человека с целью познания происходящих в них процессов – воспроизведения жизни, обучения и т.п.

Общенаучное значение кибернетики имеет ряд аспектов. Один из них связан с теоретическим обоснованием и внедрением в науку и практику *функционального подхода*. В основе этого подхода лежит принцип «*сигнал – отклик*», позволяющий кибернетике и другим наукам формулировать гипотезы о внутреннем составе и строении систем, которые в дальнейшем проверяются в ходе содержательного исследования. Как и любая научная методология, *функциональный подход* прошел длительную эволюцию в своем становлении. Зародившись на эмпирическом уровне в рамках *физики*, он был перенесен в *химию*, а затем и в *биологию*, и лишь после этого получил обоснование на теоретическом уровне в рамках кибернетики. Вполне естественно, что основы *функционального подхода* заложены физикой. Это обстоятельство обусловлено двумя основными причинами: во-первых, физика выражает низшую точку развития материи и поэтому отображает фундаментальные законы всего естествознания; во-вторых, в историческом плане она как наука зародилась раньше химии и тем более биологии, являлась «полигоном» для проверки зарождающихся научных методологий познания окружающего мира.

Об огромной значимости и фундаментальности физических знаний, в том числе и методов для биологической науки, и в целом естествознания свидетельствуют высказывания видных ученых. Так, например, в трудах академика РАО А.В. Усовой

подчеркивается, что: «Физика является лидером в естествознании. Ее фундаментальные понятия, законы и теории являются «работающими» в биологии и химии. В историческом развитии естественных наук физика служила базисом развития других наук. И в современном естествознании открытие новых научных фактов опирается на тесную взаимосвязь всех естественных наук и широкое использование физических методов исследования...» [115, с. 3–4]. Данная идея поддерживается и развивается другим известным исследователем – М.В. Волькенштейном, который подчеркивает, что фундаментальный характер физических явлений позволяет выступать физике в качестве лидера интеграции естественных наук. А в биологической науке эта интеграция достигает максимума. Одним из ярких примеров интеграции физики и биологии явилось «рождение» такой современной науки, как биофизика. Определяя цель и задачи данной науки, автор отмечает: «...определим биологическую физику как физику явлений жизни, изучаемых на всех уровнях, начиная с молекул и клеток и кончая биосферой в целом» [14, с. 9]. Известный философ А.И. Алешин считает, что подлинная, неописательная теоретичность в биологии может быть только на пути кибернизации и физикализации. «...Теоретизация биологии, – пишет он, – практически совпадает с ее физикализацией...» [2, с. 52].

Использование *функционального подхода* в биологии позволило совершить данной науке качественный скачок в своем развитии. Это стало возможным благодаря тому, что на основе этого подхода возникло новое направление в биологии – физиологическое, которое при изучении биологических систем различного уровня сложности позволило перейти от явлений к сущности: понять принципы функционирования живых систем и

на их основе создать *идеализированные модели* их организации, проверяемые практикой.

*Применение функционального подхода* (в сочетании с конкретными экспериментальными методами) позволило расшифровать ряд биохимических циклов фотосинтеза и дыхания, протекающих в растительной клетке (цикл Кальвина, цикл Кребса и другие), понять работу электрон-транспортной цепи, локализованной в мембранах хлоропластов и митохондрий, механизм синтеза АТФ. Огромную роль данный подход сыграл в расшифровке структуры биополимеров, лежащих в основе живого – белков и нуклеиновых кислот, раскрытии механизмов таких фундаментальных биологических процессов, как репликация и репарация ДНК, транскрипция и трансляция, дифференцировка и регуляция экспрессии генов. За все эти исследования ученые получили Нобелевские премии.

*Функциональный подход* как научная методология детерминировал новый (молекулярный и субмолекулярный) уровень изучения биологических объектов, что привело к возникновению новых наук, которые по своему содержанию являются интегративными. Так, на стыке фундаментальных наук физики, химии и биологии сформировались междисциплинарные науки – биофизика, биохимия, физическая химия химическая физика и др. В настоящее время тенденция интеграции наук весьма актуальна, так как решение многих насущных проблем, стоящих перед человечеством, требует комплекса знаний многих фундаментальных естественных и гуманитарных наук. Ярким примером этому является зарождение такого многообещающего научного направления, как *биокибернетика*.

Зарождение и развитие биологической кибернетики связаны с эволюцией представления об обратной связи в живой

системе и попытками моделирования особенностей ее строения и функционирования. Основная теоретическая задача биологической кибернетики – изучение общих закономерностей управления, а также хранения, переработки и передачи информации в живых системах [2; 3; 6; 126].

Одним из важнейших методов биологической кибернетики является *моделирование* структуры и закономерностей поведения живой системы. Оно включает конструирование искусственных систем, воспроизводящих определенные стороны деятельности организмов, их внутренние связи и отношения. Биологическая кибернетика рассматривает живой организм как многоцелевую «иерархическую» систему управления, осуществляющую свою интеграцию на основе *функционального объединения* отдельных подсистем, каждая из которых решает «частную» локальную задачу. Особенность организма как сложной динамической системы – единство централизованного и автономного управления. Саморегуляция, характерная для всех уровней управления живой системы, обеспечивается автономными механизмами, пока не возникают такие возмущения, которые требуют вмешательства центральных механизмов управления [6].

В последнее время все большее внимание биологов привлекают *функциональные характеристики* биологических систем управления, обусловленные периодическими (ритмическими, циклическими) процессами. Живые организмы с высокой точностью способны «измерять» время («биологические часы»). Это выражается в периодических изменениях *дыхания*, температуры тела и других процессов жизнедеятельности. Природа биологических ритмов еще во многом не ясна, но есть все основания полагать, что периодичность – фундаментальная характеристика *функционирования* биологической системы и процессов управления в ней.

Живые существа объединяются в системы разного порядка (популяции, биоценозы и т.д.), образуя своеобразную иерархию живых систем. Во всех этих надорганизменных системах, как и в жизни клетки, развитии организма, эволюции органического мира в целом, имеются внутренние механизмы регуляции, для изучения которых применимы принципы и методы биологической кибернетики.

Вопросы эволюции с позиций биологической кибернетики были впервые рассмотрены И.И. Шмальгаузенем, который отметил иерархичность управления, выделил основные каналы связи между особями, популяциями, биоценозами, определил возможности потери информации и ее искажений, описал эволюционный процесс в терминах теории информации. С этих же позиций исследуются механизмы различных форм отбора [129].

Изучение жизнедеятельности растительных и животных организмов в целом и таких важнейших их функций, как **фотосинтез, дыхание** и др., а также механизмов, управляющих работой отдельных органов и систем, – это та область, где биологическая кибернетика оказалась наиболее результативной. В связи с этим сформировались самостоятельные направления – *физиологическая кибернетика и нейрокибернетика*, изучающие механизмы поддержания гомеостаза; принципы саморегуляции *функций* организма и протекания в нем переходных процессов; закономерности нервной и гуморальной регуляции в их единстве и взаимодействии; принципы организации и *функционалирования* нейронов и нервных сетей; механизмы осуществления актов поведения и другие проблемы. Изучая закономерности работы человеческого мозга, в основе которой лежит комплекс алгоритмов, т.е. правил преобразования информации, биологическая кибернетика позволяет *моделировать* (в том

числе и на ЭВМ) различные формы работы мозга, выявляя при этом новые закономерности его деятельности. Созданы, например, программы для ЭВМ, обеспечивающие возможность обучения игре в шахматы, доказательства теорем и др. Развивается так называемое эвристическое программирование, когда исследуют и моделируют правила обработки информации в мозге при тех или иных творческих процессах. Именно на биологическую кибернетику возлагаются большие надежды в решении одной из фундаментальных проблем человечества – *расшифровке механизма мышления* [ 6; 12; 23; 130].

Таким образом, *функциональный подход* как научная методология прошел длительную эволюцию. Зародившись в рамках физической науки, он был перенесен, эффективно использован и углублен, прежде всего, в таких естественных науках, как химия и биология и в конечном итоге теоретически обоснован и утвержден в рамках кибернетики; после этого выведен на качественно новый уровень и применяется более целенаправленно и эффективно в различных областях естествознания. Использование данной методологии в биологии в настоящее время привело к возникновению нового научного подразделения – биологической кибернетики, в рамках которой возникла *физиологическая кибернетика*, основная стратегия которой направлена на расшифровку *человеческого мышления* как высшей формы отражения материи. Решение этой проблемы позволит в полной мере констатировать, что материя познала сама себя.

*Функциональный подход* как разновидность системного подхода выполняет важную методологическую роль в естествознании. Изучение механизмов (*функций*) неживых и живых систем позволяет создать *гипотетические модели* их организации, которые затем проверяются практикой. *Функциональный*

*подход* служит целям управления сложными системами. Его использование в тандеме с частными методами исследования позволяет вскрыть новые количественные и качественные закономерности изучаемых процессов и явлений природы и, в конечном итоге, управлять ими в определенной мере и получать от них максимальную пользу.

Усвоение функционального подхода и умение его использовать на практике важно не только для ученых, но и для обучающихся, которые в процессе обучения «следуют по тропе открытий», освоенных наукой. Данной методологией должны владеть не только студенты, но и школьники. Основанием тому является мнение корифеев методики биологии Н.М. Верзилина и В.М. Корсунской, которые, анализируя принципы теории развития понятий, отмечают, что: *«Значительную сложность представляет систематическое развитие понятий и умений физиологического характера [10, с. 101].*

Перед изучением физических, химических и биологических явлений и процессов крайне важно познакомить школьников и студентов с сущностью и потенциальными возможностями функционального подхода как общенаучной методологией, позволяющей конструировать идеализированные модели, которые раскрывают сущностные связи изучаемых объектов. Особую значимость в конструировании таких моделей приобретает принцип сопряжения. Она заключается в том, что этот принцип одновременно конкретизирует и системный и деятельностный подходы, определяющие общую стратегию моделирования. Использование таких моделей в процессе изучения природных объектов дает возможность перейти от явления к сущности, что будет способствовать формированию теоретического мышления у школьников и студентов.

Таким образом, функциональный подход является важнейшей методологией всего естествознания. Особую значимость он приобретает при изучении биологических систем, которые отличаются от неживых высоким уровнем сложности и многообразием функций. Усвоение данного подхода школьниками и студентами позволит эффективно и в более короткие сроки довести их знания до теоретического уровня и сформировать научное мировоззрение.

Наше исследование показало, что осмысление потенциальных возможностей функционального подхода и его использование при изучении природных систем в школьных курсах физики, химии и биологии расширило границы его применения и понимания других научных методологий, которые в иерархической лестнице являются общими (системный подход и материалистическая диалектика) и способствуют интеграции естественнонаучных знаний, а также методов познания окружающего мира.

### ***2.2.2. Методологическая роль функционального подхода в понимании сущности темновой фазы фотосинтеза***

Функциональный подход, как и любая научная методология, прошел длительную эволюцию в своем становлении. Зародившись на эмпирическом уровне в рамках физики, он был перенесен в химию, а затем и в биологию, и лишь после этого получил обоснование на теоретическом уровне в рамках кибернетики.

Системы изучаются в кибернетике по их реакциям на внешние воздействия, то есть по тем функциям, которые они выполняют. Наряду с субстратным (вещественным) и структурным подходом кибернетика ввела в научный обиход функциональный подход как еще один вариант системного подхода в широком смысле слова [19, с. 104]. В основе этого подхода лежит принцип «сигнал – отклик», позволяющий кибернетике и другим наукам формулировать гипотезы о внутреннем составе и строении систем, которые в дальнейшем проверяются в ходе содержательного исследования.

Использование функционального подхода в биологии позволило совершить данной науке большой скачок в своем развитии. Его применение при изучении биологических объектов различного уровня сложности дало возможность перейти от явлений к сущности: понять принципы функционирования живых систем и на их основе создать идеализированные модели их организации, которые затем проверялись практикой. Конкретным примером его приложения может служить история расшифровки темновой фазы фотосинтеза.

Биохимический механизм восстановительного превращения углерода (темновой фазы фотосинтеза) был изучен М. Кальвином в 1946–1956 годах. Он расшифровал последовательную цепь превращений, ведущую к образованию  $C_6H_{12}O_6$  из  $CO_2$  и  $H_2O$ , за что был удостоен Нобелевской премии. В его честь этот процесс назван циклом Кальвина.

Успешной работе Кальвина над расшифровкой механизма темновых реакций фотосинтеза способствовало взятие на вооружение современных методов изучения и оригинальная постановка опыта.

Говоря на языке кибернетики, данный ученый провел серию опытов, в которых использовал функциональный подход. Для получения необходимой информации о сущности темновой фазы фотосинтеза, он изменял входные *сигналы* (путем различного сочетания внешних факторов), направляя их на изучаемый объект (водоросль хлореллу) и с помощью физико-химических методов регистрировал ответы (*отклики*). После получения необходимого разнообразия информации Кальвин проанализировал ее и предложил образно-знаковую модель, отражающую последовательность биохимических реакций, совокупность которых и определяет сущность темновой фазы фотосинтеза.

Конкретное воплощение данного методологического подхода в сочетании с конкретными методами выглядело следующим образом:

1. Выбрал удачный объект – водоросль хлореллу, что позволило ему работать с однородным материалом.

2. Брал короткие экспозиции света. Это дало возможность определить конечный акцептор  $\text{CO}_2$ .

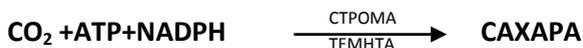
3. Применение метода меченых атомов в сочетании с хроматографией и радиоавтографией дало возможность проследить последовательно основные этапы превращения углерода в ходе темновых реакций до включения их в конечные продукты фотосинтеза.

Опыты показали, что через 5 минут пребывания в атмосфере  $\text{CO}_2$  на свету большая часть радиоактивного углерода сосредоточена в трехуглеродном соединении ЗФГК (3-фосфоглицериновая кислота). На основании этих данных ученый предложил первую общую схему изучаемого процесса: Акцептор +  $\text{CO}_2 \rightarrow \text{ЗФГК}$ .

Для установления природы акцептора он провел серию опытов с изменяющимися внешними условиями: свет, углекислый газ. Наличие или отсутствие того или иного фактора в приведенной ниже схеме опытов, проведенных Кальвиным обозначено знаками плюс (+), или минус (-). В данной схеме приведены и результаты (отклики) каждого опыта.

1.  $- h\nu, + CO_2$ : содержание ФГК продолжает расти, но исчезает 5-углеродное соединение – рибулезо-1,5-дифосфат (РДФ).
2.  $+ h\nu, + CO_2$ : количество РДФ постоянно.
3.  $- h\nu, - CO_2$ : в темноте содержание РДФ и ФГК не изменилось. Следовательно, РДФ используется в темноте с образованием ФГК, однако, дальнейшее превращение требует света.
4.  $+ h\nu, - CO_2$ : ФГК убывает, РДФ растет.

На основании этих данных Кальвин предложил общую модель, отражающую сущность биохимических превращений темновой фазы фотосинтеза:



В дальнейшем данная модель была им детализирована и подтверждена экспериментально при изучении других биологических объектов.

Образно-знаковая модель, приведенная выше, может с успехом использоваться при изучении процесса фотосинтеза, как в школе, так и в вузе. При изучении темновой фазы фотосинтеза в школе, данную модель не обязательно детализировать, так как она отражает в общем виде ее сущность. При изучении

данной фазы в рамках физиологии растений в вузе она может рассматриваться как промежуточная на пути к полной расшифровке циклических реакций, имеющих место в темновой фазе фотосинтеза (особенно на этапе регенерации первичного акцептора  $\text{CO}_2$ ). Один из удачных вариантов такой полной модели представлен в учебнике В.В. Полевого [65].

Таким образом, функциональный подход является важнейшей методологией изучения темновой фазы фотосинтеза. Поэтому перед изучением фотосинтеза (и других физиолого-биохимических процессов) крайне важно познакомить обучающихся и студентов с его сущностью и потенциальными возможностями. Взятие на вооружение данного подхода школьниками и студентами (вслед за учеными) позволит им понять логику научного исследования, приведшего к расшифровке последовательности биохимических реакций темновой фазы фотосинтеза, и тогда у них не будет складываться представление, что образно-знаковая модель, предложенная Кальвиным, является во многом умозрительной и не соответствует действительности. Приобретенный методологический опыт по применению функционального подхода они с успехом могут использовать для выяснения сущности и других физиолого-биохимических процессов, лежащих в основе жизнедеятельности всех типов клеток, существующих на Земле.

Осмысление потенциальных возможностей функционального подхода и его использование при изучении биологических систем, безусловно, расширит границы применения и понимания других научных методологий, которые в иерархической лестнице являются более общими: системного подхода и материалистической диалектики.

### **2.2.3. Реализация методологического потенциала категории «сопряжение» при изучении механизмов фотосинтеза**

При изучении конкретных явлений природы в предметах естественнонаучного цикла перед школьниками и студентами обнажается реальная *диалектика развития материи*. По мнению В.Н. Максимовой, «важно обобщить конкретно-научные и философские представления о мире. Обобщающую функцию выполняют межпредметные философские связи. Они помогают учащимся овладеть ведущими идеями диалектического материализма, усвоить их как *метод познания* и преобразования материального мира. Одновременно с философским обобщением знаний необходимо развитие *диалектического мышления* учащихся. Особое значение при этом приобретает овладение *категориями диалектики*» [48, с. 28] (курсив наш. – И.Т., С.П.).

Формирование у школьников и студентов в обучении категориального аппарата диалектического мышления является важнейшей стратегией постижения всеобщих объективных связей и развития природы. Усвоение отдельных категорий, законов и принципов диалектики включается в общую задачу формирования диалектико-материалистического мировоззрения при изучении разных предметов [133]. Особенно богатый материал для достижения этой задачи поставляет биология. Это обусловлено тем, что биологическая форма движения материи развивалась на основе физической и химической форм движения и включала их в себя в качестве побочных. В XX веке учение Ф. Энгельса о генетической связи форм движения материи получило дальнейшее развитие, так как в разных областях естествознания были сделаны важнейшие открытия, которые

позволили более конкретно и глубоко раскрыть соотношение биологической формы движения с физической и химической формами движения и ее собственную внутреннюю специфику. И хотя физическая и химическая формы движения входят в биологическую форму как бы в «снятом» виде, тем не менее для понимания сущности жизни необходимо всестороннее и глубокое изучение всех этих форм движения, в том числе и квантомеханических, совершающихся внутри живых тел. Только благодаря такому методологическому подходу можно в полной мере раскрыть как структурные, так и генетические связи между биологической и другими формами движения, прежде всего химической и физической.

В понимании взаимосвязи между различными формами движения материи важную роль играют *общие принципы* их организации и функционирования. Одним из таких принципов является принцип «*сопряжения*», который обоснован нами как важнейшая *внутренняя сторона взаимодействия*. Наши исследования свидетельствуют, что природа широко использует *сопряжение* как принцип эволюции вещества. Действие этого принципа имеет место во всех природных формах движения материи: физической, химической и биологической. Особенно важен этот принцип при возникновении новой формы движения материи, у которой возникает абсолютно *новое качество* [76]. Таким образом, сопряжение как *внутренняя сторона взаимодействия* сыграло и играет важнейшую роль в эволюции материи, в том числе и в возникновении и эволюции биологической формы движения материи. Доказательством этого положения является высказывание видных ученых, которые подчеркивают, что «в процессе химической эволюции при наличии всех необходимых для нее условий происходит *усиление*

*роли сопряженности. Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона организации динамических неравновесных систем»* [118, с. 165] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Остается только добавить, что к таким динамическим неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой.

Благодатной темой для осмысления и понимания *сопряжения* как фундаментального принципа организации и развития материи является тема «Углеродное питание растений», т. е. фотосинтез. Уникальность фотосинтеза заключается не только в плане его глобальной значимости для всего живого на планете Земля, но в аспекте его сложности. В основе этого уникального процесса лежат физические и химические явления, обеспечивающие превращение вещества и энергии как внутри фотосинтетического аппарата, так и между хлоропластами и окружающей средой. Сопряжение как принцип организации и функционирования материи «работает» на разных уровнях организации фотосинтетического аппарата, начиная с электронного уровня и кончая уровнем органелл (хлоропластов).

Используя метод молекулярных орбиталей для изучения распределения электронной плотности и роли  $\pi$ -электронов у важнейших биологически активных веществ, Б. Пюльман и А. Пюльман пришли к заключению, что почти все высокомолекулярные соединения содержат ***сопряженные системы  $\pi$ -электронов***. Они представляют собой длинную цепь (кольцо) с многократно чередующимися  $\sigma$ - и  $\pi$ -связями. В результате эффекта сопряжения образуется общее электронное облако, которое охватывает одновременно большое число атомов, и молекула или часть ее действуют в ряде

реакций (окисления, восстановления) как одно целое [79]. К таким веществам, участвующим в процессе фотосинтеза, относятся хлорофилл, каротиноиды, фикобилины, NADP, цитохромы и др. Эти важнейшие биологические соединения играют важную роль в превращении *вещества* и *энергии* в процессе фотосинтеза. Ключевую роль в этом процессе играют молекулы хлорофилла, которые благодаря своей уникальной структуре одновременно обладают свойствами *оптического и химического сенсibilизатора*. Можно сказать, что эффект *многократного сопряжения* между электронами  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей предопределил эффект *сопряжения* физических и химических свойств в одной молекуле хлорофилла. Именно такое сопряжение позволило К.А. Тимирязеву назвать хлорофилл самым уникальным веществом на Земле, который играет ключевую роль в обеспечении всего живого солнечной энергией.

Солнечная энергия, поглощенная сопряженной системой  $\sigma$ - и  $\pi$ -связей, преобразуется в энергию электронного возбуждения. Дальнейшая стабилизация энергии электронного возбуждения происходит на фотохимическом этапе фотосинтеза, в основе которого лежат *сопряженные окислительно-восстановительные реакции* между компонентами электрон-транспортной цепи (ЭТЦ), локализованной в мембранах и на мембранах тилакоидов хлоропластов. Поэтому понимание сущности фотосинтеза на молекулярном и субмолекулярном уровнях при изучении его в курсе биологии во многом зависит от того, насколько глубоко сформированы у школьников и студентов понятия «*сопряжение*» и «*окислительно-восстановительная реакция*». Необходимость такого требования вытекает из того, что данный тип реакций лежит в основе фотосинтеза, о чем свидетельствуют мнения ряда видных специалистов, как

в области химии, так и в области биохимии и физиологии клетки. Так, например, Б.Д. Березин пишет: «По современным представлениям, фотосинтез в зеленом листе – это самый сложный физический, химический и биологический процесс окислительно-восстановительного превращения  $H_2O$  и  $CO_2$  в углеводы и другие органические соединения, инициируемый хлорофиллом *a* в фотосинтетическом аппарате» [5, с. 735]. Анализируя физико-химические основы фотосинтеза, Г.Г. Комиссаров отмечает: «Фотосинтез – сложный биологический процесс, состоящий из большого числа сопряженных окислительно-восстановительных реакций» [35, с. 28]. С философской точки зрения эта диалектическая пара представляет несомненный интерес, так как, обладая двойственной реакционной способностью, окислительно-восстановительные реакции во многом определяют эволюцию вещества, подчиняясь основному закону природы – единства и борьбы противоположностей. В курсе химии существует понятие «сопряженные реакции» – химические реакции, которые протекают только при наличии хотя бы одного общего реагента, причем одна из реакций возбуждает или ускоряет другую.

Механизм преобразования энергии электронного возбуждения и запасания ее в конечном итоге в химической форме, в виде АТФ, которая служит универсальной энергетической «валютой» живой клетки, объясняет хемиосмотическая теория П. Митчелла. Иначе говоря, в данной теории расшифровывается механизм фотосинтетического фосфорилирования при транспорте электронов по цепи переносчиков локализованных в мембранах тилакоидов хлоропластов, которые обозначают как *сопрягающие мембраны*. Основным понятием, которое было положено в основу разработки данной теории (первоначально

гипотезы) было понятие **«сопряжение»**. Вместе с тем важную роль сыграли и результаты предыдущих исследователей (модельные опыты Пекера и Хинда), в которых было показано, что при освещении изолированных тилакоидов *in vitro* происходит подщелачивание внешнего раствора. На основании этого был выдвинут «основной постулат» хемиосмотической гипотезы: **«энергетическое сопряжение** осуществляется через электрохимический градиент протонов». А затем и сформулирован хемиосмотический **принцип энергетического сопряжения**, который гласит, что «электронпереносящие цепи хлоропластов **сопряжены** с системой синтеза АТФ через разность электрохимических потенциалов протонов ( $\Delta\mu\text{H}^+$ ) на **сопрягающих мембранах**» [53, с. 10].

Наиболее привлекательной чертой хемиосмотической гипотезы для исследователей, занимающихся биоэнергетикой, было то, что она позволяла сразу предложить ряд экспериментов, в которых можно было проверить ее предсказания. Эти опыты можно разделить на две группы. Первая группа опытов была направлена на доказательство того, что электрохимический градиент протонов действительно выполняет функцию **сопряжения** между током электронов по электрон-транспортной цепи и синтезом АТФ на **сопрягающих мембранах**. Это опыты с «кислотно-основными переходами», в которых  $\Delta\mu\text{H}^+$  создавался искусственно и при этом регистрировался синтез АТФ. Сопрягающие мембраны должны содержать специфические обменные переносчики, позволяющие метаболитам проникать через мембрану и сохранять осмотическую стабильность в условиях высокого мембранного потенциала.

Вторая группа – опыты с *разобщителями*, в которых использовали соединения, «подавляющие» образование  $\Delta\mu\text{H}^+$ .

В таких опытах ток электронов по ЭТЦ имел место, но синтез АТР не регистрировался, и это указывало на то, что  $\Delta\mu\text{H}^+$  действительно выполняет функцию фактора *энергетического сопряжения*.

Таким образом, результаты нашего теоретического исследования свидетельствуют, что понятие «сопряжение» выполняет методологическую функцию при изучении физических, химических и физиологических механизмов фотосинтеза, подтверждая тем самым идею С.М. Похлебаева о том, что данная категория является отражением важнейшего принципа организации материи в целом и методологией ее познания [76]. В узком смысле понятие «сопряжение» используется в естествознании в целом, и в частности, в области биохимии и биологии: «сопряженные системы  $\pi$ -электронов», «сопряженные окислительно-восстановительные реакции», «энергетическое сопряжение», «сопрягающий фактор», «сопрягающие мембраны», «сопрягающие органеллы» и т.д. Однако во всех этих частных применениях (значениях) этого понятия оно не несет методологической нагрузки. Только после философского осмысления содержания понятия «сопряжение» и возведения его в ранг категории оно становится мощным методологическим средством умственной деятельности школьников, студентов и преподавателей.

Следует отметить, что методологическая значимость понятия «сопряжение» лишь косвенно высвечивается при анализе учебной литературы. В вузовских учебниках, где рассматривается теория Митчелла, понятие «сопряжение» хотя и используется, но не несет методологической нагрузки [65]. В некоторых школьных учебниках общей биологии делается попытка использовать положения хемиосмотической теории Митчелла для

объяснения механизма синтеза АТФ. Однако авторы этих учебников весьма смутно представляют сущность данной теории, а понятия «*сопряжение*» вообще не используют [57; 65]. По-видимому, по этой же причине, авторы наиболее распространенного учебника общей биологии (Б.Д. Захаров и др. 1999) механизм синтеза АТФ вообще не рассматривают [55].

Многолетняя практика автора свидетельствует, что выпускники школ не понимают сущности фотосинтеза, который К.А. Тимирязев назвал самым уникальным процессом на Земле. Значительные трудности при изучении этого процесса испытывают и студенты вуза. Основная причина этого – игнорирование (скорее всего непонимание) авторами учебников методологического потенциала категории *сопряжения*. Именно это понятие определяло в ходе научных исследований стратегию изучения фотофизического, фотохимического и биохимического этапов фотосинтеза и оно же должно определять стратегию их познания школьниками и студентами при изучении курса биологии.

Усвоение и сознательное применение данной категории внесет определенный вклад в формирование целостного диалектического мышления не только у школьников и студентов, но и у учителей школ и преподавателей вузов.

#### ***2.2.4. Методологическая роль категории «сопряжение» при изучении механизмов клеточного дыхания***

Существенной характеристикой любого развития, согласно закону «отрицания отрицания», является становление нового, которое создает основу для преобразования всего исходного процесса. Приложение данного тезиса к развитию научного процесса познания, результатом которого являются понятия,

законы, теории, означает анализ тех *модификаций*, которым подвергаются эти формы знаний. Диалектическая сущность принципа развития раскрывается через философские категории и, прежде всего, такую категорию, как *преемственность*. Подлинное развитие может быть только на основе преемственности, которая обозначает объективную и необходимую связь между новым и старым в процессе развития. В философском смысле преемственность раскрывает сущность генетической связи между формами движения материи и их эволюции.

Проецируя данную закономерность природы на процесс развития научного познания, Л.Ф. Ильичев отмечает: «отображая новую практику, новые идеи как бы возвышаются над ранее устоявшимися представлениями, служат задаче их диалектического отрицания. Конкретную природу новых представлений можно определенным образом раскрыть, рассматривая роль и значение *обобщения в процессе познания*» [50, с. 426] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Исторический анализ развития науки свидетельствует, что новые фундаментальные идеи являются результатом теоретического синтеза, *обобщения* предшествующих знаний, при котором *исходные знания обогащаются новым содержанием*.

Это положение является весьма актуальным для современной биологической науки, которая вышла на молекулярный уровень изучения живого. Данному уровню биологической формы движения материи *соответствуют* особые принципы ее организации, которые детерминируют появление новых понятий (категорий), законов и теорий, раскрывающих сущность этих принципов на молекулярном и субмолекулярном уровнях. Это позволяет глубже понять механизмы организации и функционирования биологических процессов, с целью управления

ими при решении практических задач. Подобная диалектическая связь *между новым выявленным уровнем организации материи и разработкой новых понятий и теорий* закреплена в одном из основных методологических принципов науки – *принципа соответствия*. Большое значение в выявлении этой закономерности с позиций диалектического материализма сыграла работа И.В. Кузнецова [41]. Философское значение данного принципа заключается в том, что он выражает диалектику процесса познания, перехода от относительных истин к абсолютной, все более полной истине; обнаруживает не только различие, но и связь, преемственность между теориями; отражает закономерную связь старых и новых теорий, которая проистекает из внутреннего единства качественно различных уровней материи; обуславливает не только целостность науки, но и *эвристическую роль* при проникновении в качественно новую область явлений. Опираясь на положение о том, что новые теоретические представления являются результатом диалектического обобщения, мы тем самым вооружаемся стратегией *на раскрытие природы этих представлений*.

Теоретический анализ различных областей биологической науки и естествознания в целом позволил нам выявить такой общий принцип организации материи, как *«сопряжение»*, который отражает одну из внутренних сторон взаимодействия. Данное исследование подтверждает методологическую стратегию развития современной науки, заключающуюся в том, что в развитых областях знания новые фундаментальные идеи выступают как *более обобщенные*, т.е. в своем возникновении *они опираются на уже достигнутое и в то же время обогащают его содержание*. Обобщенная природа нового понятия «сопряжение» и возведение его в статус естественнонаучной категории

означает, что оно отображает более широкую сферу действительности и потому является более эффективным орудием исследования и понимания объектов неживой и живой природы. В основе выработки такого обобщенного знания лежат процессы проникновения в сущность более высокого порядка. Категория сопряжения информационно является более емкой, обладает мощным методологическим потенциалом, как для отображения материальной действительности в целом, так и ее отдельных объектов и явлений.

Процессы обобщения знаний наглядно прослеживаются в истории науки, особенно в области биологии. Ярким примером этому является эволюционная теория Ч. Дарвина, которая отражает необратимое историческое развитие живой природы, приводящее к возникновению все более и более сложных жизненных форм: начиная клеткой и заканчивая биосферой.

Диалектико-материалистический подход к анализу развития понятия *сопряжение*, не будет эффективным, если, во-первых, данное понятие не будет раскрывать то, какие *обобщения* производятся на его базе, во-вторых, насколько оно является информационно емким *для отображения свойств и закономерностей единичного*. Именно этими положениями может быть определена ценность данного понятия для науки.

Содержание обобщенных понятий и их методологический потенциал раскрываются при изучении конкретных объектов и процессов. В предыдущем исследовании методологическая значимость категории сопряжения была раскрыта на примере процесса фотосинтеза, который играет исключительно важную роль для поддержания жизнедеятельности всех организмов нашей планеты и благоприятных условий для их существования. Другим не менее важным процессом для всего живого является

дыхание, которое совместно с фотосинтезом составляют основу углеводного обмена, определяющего все другие обменные процессы.

В основе дыхания, как и фотосинтеза, лежат физические и химические явления, обеспечивающие превращение вещества и энергии как внутри клеток, так и между клетками и окружающей средой. В понимании сущности (механизмов) этих превращений важную роль также играет **категория сопряжения**, которая позволяет раскрыть сущность процесса дыхания на разных уровнях организации живых объектов: организменном, клеточном, мембранном, молекулярном и электронном.

Если определять методологическую значимость категории сопряжения на организменном уровне, то она высвечивается, прежде всего, в эволюционном аспекте. *Сопряжение как одна из внутренних сторон взаимодействия* позволяет выявить стратегию более глубоких механизмов, лежащих в основе эволюции живых объектов природы, в силу того, что движущая сила всего эволюционного процесса есть результат *взаимодействия организмов между собой и с внешней средой (сопряженная коэволюция)*. Взаимодействие (сопряжение) организмов между собой привело, в конечном итоге, к возникновению живых систем надорганизменного уровня организации – популяций, биоценозов и биосферы. Эти системы обладают более совершенными механизмами самоорганизации, адаптации и эволюции.

Прогрессивная эволюция биологической формы движения материи во многом была predeterminedена и механизмами сопряжения между живыми объектами и окружающей средой, которые тесно взаимодействуют и развиваются как единое целое. На заре эволюции факторы окружающей среды

для первичных организмов были довольно жесткими, особенно на суше, поэтому жизнь возникла в водной среде, где условия для существования первых организмов были более благоприятные. С нарастанием биомассы нашей планеты живое вещество включилось в большой геологический круговорот веществ и существенно его изменило в сторону более благоприятных условий для своего существования. В результате такого *глобально сопряжения* возникли биогеохимические циклы, биогеохимический круговорот веществ, в котором постоянно происходит обмен веществом и энергией между компонентами биосферы. В результате такого сопряжения устойчивость биосферы значительно повысилась.

Большое значение в круговороте веществ в биосфере играют такие физиологические процессы, как фотосинтез и дыхание. Не умаляя роли фотосинтеза, следует отметить, что процесс дыхания эволюционно был первичным и существенно изменил условия окружающей среды. Это касается, прежде всего, изменения состава атмосферы и гидросферы, где концентрация углекислого газа существенно повысилась. Эти изменения окружающей среды положительно сказались на дальнейшей эволюции живого. Углекислый газ поглощает инфракрасные (тепловые) лучи, поэтому с увеличением его концентрации на планете ее температура повысилась и стала более благоприятной для всех живых объектов. Кроме того, повышение концентрации углекислого газа предопределило возникновение самого уникального процесса нашей планеты – фотосинтеза, который во многом детерминировал темпы не только биологической эволюции всего живого нашей планеты, но и социальной эволюции человека.

Элементарной структурной и функциональной единицей любого организма является *клетка*, в основе возникновения которой лежит принцип *сопряжения*. Этот принцип высвечивается как в отношении клеточных структур, так и функций, а также их взаимосвязи. Базовой структурой клетки являются мембраны, которые выполняют разнообразные функции. Для нашего исследования особый интерес представляют мембраны, участвующие в процессе клеточного дыхания. Их уникальность заключается в том, что они содержат ферментные комплексы, в которых синтезируется большая часть АТФ. Такие мембраны называют «*сопрягающими*», и к ним относится внутренняя мембрана митохондрий.

Сопрягающие мембраны имеют целый ряд отличительных черт. Каждая такая мембрана содержит белковые ансамбли двух типов. Один из них обычно называют АТФ-азой, хотя более правильным было бы название АТФ-синтетаза, так как он катализирует энергозависимый синтез АТФ из ADP и  $P_i$ . Этот комплекс присутствует во всех сопрягающих мембранах. Природа второго белкового ансамбля зависит от первичного источника энергии, используемого в данной мембране. В случае митохондрий и дышащих бактерий – это дыхательная цепь, катализирующая перенос электронов от субстратов к конечным акцепторам, таким как  $O_2$ . Особое название эти мембраны получили благодаря своей *уникальной функции*: в них перенос электронов и синтез АТФ *сопряжены* с работой двух различных обратимых протонных помп. При переносе электронов образуется разность потенциалов  $\Delta\mu n^+$ , которая затем используется для обращения протонной помпы, гидролизующей АТФ (АТФ-синтетазы), т.е. для синтеза АТФ [53].

Таким образом, *сопрягающая мембрана* митохондрий содержит две протонные помпы. Движущей силой для одной из них служит перенос электронов, а для другой – гидролиз АТФ. Обе помпы ориентированы в мембране одинаково: перенос электронов по цепи (от высокопотенциальных доноров к акцепторам) и гидролиз АТФ АТФ-синтетазой приводят к трансмембранному переносу протонов в одном направлении. И в том и в другом случае перенос протонов через мембрану тесно *сопряжен* с переносом электронов или гидролизом АТФ. Такие помпы могут быть использованы для непрерывного синтеза АТФ. Именно так все и происходит *in vivo*: АТФ постоянно используется в различных реакциях в цитозоле, а высокий уровень  $\Delta\mu\text{H}^+$  поддерживается за счет работы дыхательной электронпереносящей цепи. В результате работы протонных помп устанавливается круговой ток протонов через *сопрягающую* мембрану. Приведенный пример свидетельствует, что сопряжение как общий принцип организации материи обеспечил в процессе ее эволюции создание уникальных структур, которые позволяли выполнять уникальные функции, связанные с *превращением вещества и энергии*. На основе этих превращений материальные объекты эволюционировали и *выходили на качественно новую ступень организации*.

Энергетические преобразования процесса дыхания тесно связаны с преобразованием вещества. Эти процессы тесно *сопряжены*. В процессе аэробного дыхания происходит поэтапное окисление (отнятие  $\bar{e}$  и  $\text{H}^+$ ) исходных органических веществ до углекислого газа и воды. При этом образуется большое разнообразие *промежуточных метаболитов*, использующихся для синтеза глицерина, жирных кислот, аминокислот, нуклеотидов, терпеноидов и др. В свою очередь, эти метаболиты являются

основой для синтеза белков, липидов, полисахаридов, нуклеиновых кислот, которые могут использоваться как строительный материал для всех клеточных структур. Кроме того, промежуточные метаболиты используются для синтеза таких специфических веществ, как фитогормоны (гибберелины, цитокинины, индолилуксусная кислота, абсцизовая кислота и этилен), которые регулируют онтогенез как на клеточном уровне, так и на уровне целостного растительного организма. Дыхание, таким образом, является непосредственным источником не только энергетического, но и пластического материала для метаболизма клеток. *Промежуточные метаболиты дыхания* (как важнейшего звена углеводного обмена) *сопрягают* его со всеми другими обменами (белковым, липидным, нуклеиновым, гормональным и др.), обеспечивая тем самым целостность клеточного метаболизма, который является функциональной основой жизнедеятельности любой клетки.

Основные пункты сопряжения промежуточных метаболитов дыхания с другими частными обменами целесообразно зафиксировать в обобщенной модели. Такая модель, отражающая взаимосвязь метаболических процессов в растительной клетке, разработанная В.В. Полевым [65].

На молекулярном уровне методологический потенциал категории сопряжения раскрывается при выяснении взаимосвязи между биохимическими реакциями, которые определяют сущность дыхания. Подавляющая часть таких реакций представлена *сопряженными реакциями*, «которые протекают только при наличии хотя бы одного общего реагента, причем одна из реакций возбуждает или ускоряет другую» [88, с. 1239]. В качестве примера можно привести реакции гликолиза и пентозофосфатного пути (ПФП), которые пространственно не отделены

друг от друга. Эти реакции протекают в растворимой части цитоплазмы и имеют *общие субстраты*, которые их *сопрягают* – глюкозо-6-фосфат, фруктозо-6-фосфат и 3-фосфоглицериновый альдегид. Наличие подобного сопряжения необходимо рассматривать как аромимоз (адаптацию), позволяющую клетке адекватно отвечать на изменение условий окружающей среды. Так, в норме доля пентозофосфатного цикла в общем дыхательном обмене составляет 10–40% и варьирует в зависимости от типа ткани и ее функционального состояния. В анаэробных условиях гликолиз доминирует над ПФП.

Вторым типом *сопряженных* реакций являются окислительно-восстановительные реакции. Взятие на вооружение категории сопряжения при формировании и развитии понятия «окислительно-восстановительная реакция» детерминирует жесткую взаимосвязь между понятиями «окисление» и «восстановление». Это не позволит допускать студентам при изучении дыхания грубых ошибок, когда разрывается диалектическая связь между этими понятиями, и они применяются в паре с другими понятиями, такими как «синтез» и «распад», что приводит к непониманию сущности окислительно-восстановительных реакций, играющих ключевую роль в процессе и клеточного метаболизма в целом.

Все окислительно-восстановительные реакции, лежащие в основе дыхания, являются ферментативными. Ключевую роль в дыхательных ферментах, которые катализируют эти реакции, играют коферменты  $\text{NADH}_2$  и  $\text{FADH}_2$ . Наличие *сопряженной системы* простых и двойных связей у этих коферментов обеспечивает достаточно большую их активность и это существенно облегчает протекание биохимических реакций. Так, например, электроны обеспечивают взаимодействие между ферментом и

субстратом, результатом которого является образование промежуточного продукта. В молекуле такого продукта электронная плотность сосредоточена на одном каком-либо атоме, в результате чего энергия активации снижается (энергетический барьер преодолевается) и открывается путь к дальнейшим превращениям веществ. Промежуточные продукты сочетают (сопрягают) в себе весьма ценные свойства: они одновременно и активны и устойчивы, поэтому имеют место во всех важнейших биохимических превращениях [79]. Таким образом, в структуре коферментов  $\text{NADH}_2$  и  $\text{FADH}_2$  принцип сопряжения имеет место как на молекулярном, так и электронном уровне. Такое *двойное сопряжение* обуславливает уникальные свойства этих коферментов, которые реализуются в процессе дыхания.

На электронном уровне методологическая роль *сопряжения* ярко высвечивается и при изучении механизма окислительного фосфорилирования, который осуществляется при участии дыхательной электронтранспортной цепи (ЭТЦ), локализованной во внутренней мембране митохондрий. ЭТЦ служит для передачи электронов от восстановленных субстратов на кислород. Перенос электронов по ЭТЦ от восстановленных коферментов  $\text{NADH}_2$  и  $\text{FADH}_2$  к кислороду сопровождается потерей свободной энергии. Однако длительное время исследователи этого процесса не могли выяснить дальнейшие преобразования этой энергии в митохондриях. Стратегию в понимании этого преобразования первым определил В.А. Энгельгард, который высказал идею о *сопряжении* между фосфорилированием ADP и аэробным дыханием. В дальнейшем биохимики В.А. Белицер в СССР и Г. Калькар в США установили, что при окислении промежуточных продуктов цикла Кребса, в частности янтарной и лимонной кислот, суспензиями животных тканей

исчезает неорганический фосфат и образуется АТФ. В анаэробных условиях или при подавлении дыхания цианидом такого фосфорилирования не происходит. «Процесс фосфорилирования ADP с образованием АТФ, сопряженный с переносом электронов по ЭТЦ митохондрий, получил название *окислительного фосфорилирования*» [65, с. 156].

Приведенный анализ сущности процесса дыхания и его роли на разных уровнях организации биологических объектов свидетельствует, что в основе организации структурных элементов клетки, принимающих участие в этом процессе, и механизмов их функционирования лежит *принцип сопряжения*. Доказательством этому является тот факт, когда понятие сопряжения либо прямо используется для понимания тех или иных конкретных механизмов дыхания (*сопряженная система* простых и двойных связей у коферментов, *сопряжение* тока электронов и фосфорилирования, *сопряженные* реакции, *сопряженные* мембраны, *сопряженные* органеллы); либо, когда методологическая роль этого понятия косвенно высвечивается (коэволюция организмов и среды их обитания, взаимодействие организмов между собой с образованием более сложных живых систем, взаимосвязь фотосинтеза и дыхания и их связь с неживой природой, промежуточные метаболиты как основа для взаимосвязи всех частных обменных процессов в единое целое и др.). Приведенные примеры использования понятия *сопряжение* для проникновения в сущности все более и более высокого порядка, подтверждают его *значительную информационную емкость и статус естественнонаучной категории*.

При выявлении сущности дыхания в вузовских курсах биологии у студентов возникают существенные трудности, которые обусловлены двумя основными причинами. Первая

причина обусловлена наличием грубых ошибок в трактовке содержания данного понятия в большинстве школьных учебников по общей биологии, которые затем проявляются при изучении вузовских курсов, и игнорированием роли методологических принципов, которые позволяют избежать этих ошибок. Вторая причина детерминирована существенным пробелом в определениях содержания понятий «дыхание» и «катаболизм» в основных справочных словарях. Дыхание является основой катаболизма, который является, в свою очередь, важнейшим звеном метаболизма в целом. Поэтому от понимания сущности этих понятий во многом зависит и понимание организации и функционирования всех живых систем на нашей планете.

Для подтверждения высказанных тезисов проанализируем определение катаболизма, приведенное в «Биологическом энциклопедическом словаре»:

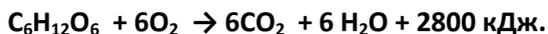
«Потребление  $O_2$  клетками и тканями лежит в основе тканевого дыхания, представляющего собой совокупность окислительно-восстановительных процессов и приводящего к распаду органических соединений с образованием конечных продуктов обмена веществ и освобождением энергии, используемой организмом для осуществления физиологических функций» [7, с. 189]. Комментарий к данному определению, по видимому, излишен.

При анализе подобной ситуации вполне закономерно возникает вопрос: на каком этапе формирования этих важнейших взаимосвязанных общебиологических понятий нарушены законы формальной логики? Ответы на подобные вопросы во многом помогает дать важнейшая научная методология – *исторический подход*, основная задача которого, как известно,

состоит в выяснении условий и факторов, способствующих рождению нового знания.

Рассматриваемые общебиологические понятия, как известно, отражают сущность физиологических процессов, происходящих в живых организмах. Само же зарождение физиологического направления в биологической науке (особенно физиологии растений) обязано не биологам (морфологам), а физикам и химикам, о чем свидетельствует высказывание выдающегося физиолога растений К.А. Тимирязева: «Главными своими устоями физиология обязана не ботаникам, а химикам и физикам» [97, с. 24]. Не умаляя достоинства и вклада представителей этих наук в разработку физиологического направления, следует отметить, что к изучению биологических объектов они подходили зачастую без учета их специфики и протекающих в них процессов, перенося однозначно законы физики и химии, свойственные неживым объектам, на живые.

В развитии любой науки менее сложное предшествует более сложному. Данный принцип относится и к изучению физиологических функций. Поэтому первоначально был изучен процесс дыхания, а затем катаболизм в целом. При изучении дыхания для химиков очень важно было свести баланс между исходными продуктами ( $C_6H_{12}O_6$  и  $O_2$ ) и конечными ( $CO_2$  и  $H_2O$ ), который, как известно, отражается в общем уравнении дыхания:



Дыхание является основой катаболизма, поэтому при изучении последнего приводится общее уравнение дыхания, которое зачастую (без соответствующего толкования) сбивает с толку не только обучающихся, но и учителей и преподавателей.

Промежуточные метаболиты *сопрягают* все обменные процессы, и с этой точки зрения они являются основой клеточного метаболизма в целом.

Итак, приведенные факты и рассуждения позволяют заключить, что ошибки в толковании сущности понятия катаболизма, имеющие место в справочной литературе, зачастую переносятся в школьные учебники, что оказывает негативное влияние на понимание физиологических функций живых организмов в целом. Из этого следует, что при написании школьных учебников авторам необходимо помимо справочной использовать научную литературу и вузовские учебники. Кроме того, при изучении сущности дыхания необходимо показывать его связь с другими обменными процессами, а это возможно только при выявлении *пунктов сопряжения* между ними.

Таким образом, категория *сопряжения* играет исключительно важную роль в понимании сущности дыхания на всех уровнях организации живых систем, начиная с электронного уровня и заканчивая биосферным. Отражая сущность одной из внутренних сторон взаимодействия, данная категория расширяет границы нашего понимания о принципах структурной организации материи в целом, благодаря чему открываются новые перспективы, новые подходы к решению важнейших проблем науки и их роли в структуре *рационального познания*. Как логическая форма мышления *сопряжение выражает содержание других форм рационального познания*, и в частности, такой формы нормативного знания, как *стиль научного мышления*.

### **2.2.5. Сопрягающая функция электронной теории вещества при изучении механизмов взаимодействия фотосинтеза и дыхания в курсе биологии**

Вещество как вид материи претерпело длительную эволюцию в рамках физической, химической и биологической форм движения. На каждом из этапов уровень организации вещества существенно повышался, и это детерминировало появление у новых систем и новых свойств и даже возможностей. Ключевую роль в появлении качественно новых систем играют механизмы *внутреннего взаимодействия* между исходными элементами. Одним из таких внутренних механизмов взаимодействия является сопряжение.

Сопряжение как *внутренняя сторона взаимодействия* сыграло и играет важнейшую роль в эволюции материи, в том числе и в возникновении и эволюции биологической формы движения материи. Доказательством этого положения является высказывание видных ученых, которые подчеркивают, что «в процессе химической эволюции при наличии всех необходимых для нее условий происходит усиление роли сопряженности. *Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона организации динамических неравновесных систем*» [118, с. 165] (курсив наш. – И.Т., С.П.). Остается только добавить, что к таким динамическим неравновесным системам относятся все живые системы разных уровней организации: начиная с клетки и заканчивая биосферой. Учитывая вышесказанное, клетку, по-видимому, можно охарактеризовать как *элементарную сопряженную живую систему*, а понятие «сопряжение» включить в одно из определений жизни.

В растительной клетке как элементарной живой системе имеют место («в скрытом виде») многие *виды сопряжения*, которые появились при возникновении и развитии физической и химической форм движения материи (*сопряженные электроны, сопряженные химические связи, сопряженные реакции, энергетическое сопряжение* и т.д.). На основе данных видов сопряжения на заре биологической формы движения материи возникли более сложные виды сопряжения, касающиеся как ее структур, так и явлений (процессов). Важнейшими такими структурными формами являются – *сопряженные мембраны, сопряженные органеллы* и *сама клетка как сопряженная система*. Эти сопряженные структуры обладают и сопряженными явлениями. Биологические мембраны – явлением полупроницаемости (одновременно пропускают молекулы одних веществ и не пропускают молекулы других веществ). В сопряженных органеллах – хлоропластах и митохондриях протекают соответственно процессы фотосинтеза и дыхания, которые тесно сопряжены между собой. В основе такого сопряжения лежат каталитические сопряженные системы, возникшие в ходе химической эволюции. Элементарные стадии процессов фотосинтеза и дыхания оказываются неразделенными, потому что имеют общие компоненты и вследствие их энергетической сопряженности. Исследование особенностей взаимовлияния сопряженных процессов фотосинтеза и дыхания, которые являются звеньями единого углеводного обмена растительной клетки, представляет особый интерес.

В предыдущих наших исследованиях показана методологическая значимость категории сопряжения при изучении механизмов как процесса фотосинтеза, так и механизмов процесса дыхания, которые в своей совокупности являются основой

метаболизма растительной клетки. Эти механизмы сопряжения раскрыты на молекулярном, мембранном и электронном уровнях [69; 100; 102]. Целью настоящего исследования явилось раскрытие сущности сопряжения как внутреннего **механизма взаимодействия** на электронном уровне **между фотосинтезом и дыханием**, который обеспечивает целостность углеводного обмена в интактной растительной клетке.

Исключительное значение для понимания механизмов сопряжения, обеспечивающих эволюцию как неживой, так и в живой материи, играют принципы физических теорий, и, прежде всего, теории электронного строения вещества. Это обусловлено тем, что принципы этой теории позволяют понять сущность механизмов сопряжения на самом глубинном (электронном) уровне. Иначе говоря, для понимания механизмов эволюции материи необходимо объединить *всеобщий принцип сопряжения как один из механизмов эволюции материи с принципами электронной теории вещества*. Дуализм этих методологических подходов обеспечит взаимосвязь и взаимодействие естественных наук, углубит и расширит содержательную базу естественнонаучных дисциплин для методологических обобщений и формирования у школьников и студентов современного научно-мировоззрения, диалектического стиля мышления.

По мнению М.С. Свирского, «...особая роль электронов в современной теории вещества определяется тем, что из всех известных в настоящее время микрочастиц электрон имеет наименьшую, отличную от нуля массу покоя и наименьший электрический заряд. Отклик электронов на внешние электрические и магнитные воздействия существенно определяет физико-химические свойства веществ. Поэтому фундаментальное объяснение макроскопических свойств вещества связано с определением влияния электронов на формирование этих свойств.

Явления, изучаемые электронной теорией вещества, имеют первостепенное значение для научно-технического прогресса» [86, с. 3].

Создание данной теории физической наукой оказало революционное влияние на все остальные науки естественнонаучного цикла и во многом предопределило стратегию их дальнейшего развития. Не составила исключения и биологическая наука, использовавшая «плоды» этой теории не только напрямую – от физики, но и от смежной науки – химии, которая применила основные идеи электронной теории вещества для объяснения механизмов химических реакций, протекающих как в неживой, так и в живой природе.

Использование новых идей и методов одной науки в других областях знаний приводит, как известно, к рождению новых направлений исследования и смежных (комплексных) наук, которые решают насущные проблемы человечества. Так произошло и после создания электронной теории вещества. Взятие на вооружение постулатов и методов данной теории химией и биологией привело к созданию новой области науки – квантовой биохимии, основной задачей которой является теоретический расчет плотности электронов у отдельных атомов, образующих структуру молекулы.

Квантомеханические расчеты позволяют количественно определить величины энергетических уровней электронов и предвидеть в каждом конкретном случае, какие молекулы будут играть роль доноров, а какие – акцепторов электронов, что, несомненно, открывает большие перспективы в управлении физиолого-биохимическими процессами клеток, лежащими в основе их жизнедеятельности, как в норме, так и при патологии.

Расчеты квантовой биохимии имеют не только теоретическую, но и практическую значимость. Так, изучение электронного строения канцерогенных соединений позволило выяснить, что молекулы этих веществ прикрепляются к белку определенными точками (К-область), и лишь после образования соединения с белком начинается канцерогенный процесс [79].

Анализируя вклад современной квантовой биохимии в изучение важнейших физиологических процессов, видные физиологи растений Б.А. Рубин и В.Ф. Гавриленко отмечают, что «... 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 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» [82, с. 12].

Понимание биохимических процессов на электронном уровне внесло неоценимый вклад в решение проблем биоэнергетики клетки. Опора на ее основные положения позволила расшифровать механизм преобразования энергии электрона в энергию макроэргических связей АТФ (механизмы окислительного и фотосинтетического фосфорилирования). Английским биохимиком П. Митчеллом было выяснено, что в электронотранспортных цепях хлоропластов и митохондрий компоненты, переносящие электроны, чередуются с компонентами, переносящими одновременно и электроны и протоны. Такая уникальная структура позволяет преобразовывать энергию электрона в промежуточную, более долго живущую форму энергии

$\Delta\mu\text{H}^+$  – электрохимический градиент протонов. В последующих процессах данная форма энергии при участии сопрягающего фактора (АТФ-азы) используется на синтез АТФ из АДФ и  $P_i$ . Основные свои идеи П. Митчелл выразил в хемиосмотической теории, в основу которой положил хемиосмотический принцип *энергетического сопряжения* [8]. Данное открытие было по достоинству оценено, а сам автор в 1972 г. получил Нобелевскую премию. По своей значимости данное открытие сопоставимо с расшифровкой структуры ДНК.

Таким образом, для понимания сущности процессов фотосинтеза и дыхания и их взаимосвязи первостепенное значение имеет *прослеживание энергетических уровней электрона* во всех компонентах, участвующих в этих процессах, что необходимо постоянно подчеркивать при их изучении как в вузе, так и в школе.

В целях реализации данной идеи целесообразно использовать обобщенные упрощенные модели (схемы), отражающие относительное энергетическое состояние  $\bar{e}$  в метаболитах, фотосинтеза и дыхания. Разработанная нами модель (рис. 11) *раскрывает сущность сопряжения между фотосинтезом и дыханием на электронном уровне*. Применение данной схемы в вузе и школе позволяет студентам и ученикам глубже осмыслить сущность фотосинтеза и дыхания и установить между ними диалектическую связь на самом глубинном уровне.

В левой части схемы показано, что электроны воды (водорода) имеют минимальное количество энергии, что обуславливает большую инертность данного соединения. Для их передвижения к конечному акцептору –  $\text{NADP}^+$  (против термодинамического градиента) необходима дополнительная энергия. Ее аккумуляция происходит при участии пигмента  $P_{680}$ , который, поглотив фотоны, поднимает электроны на более высокий энергетический уровень.

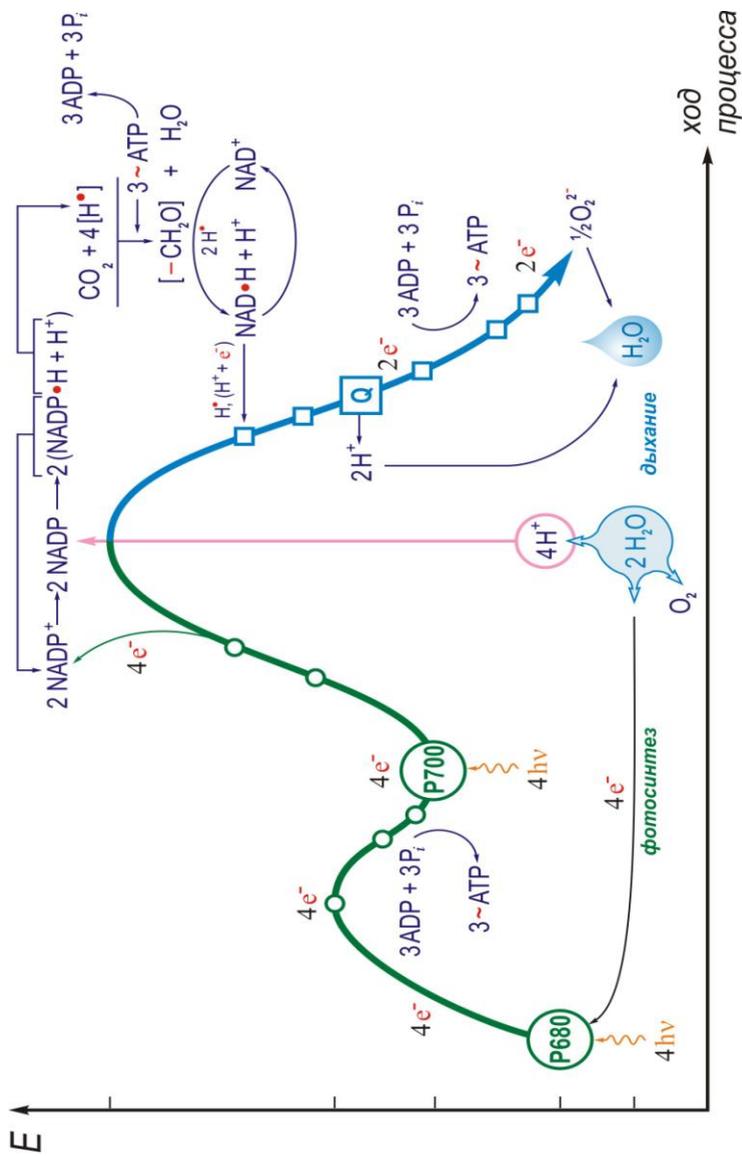


Рис. 11 Энергетическое состояние электрона в метаболитах фотосинтеза и дыхания  
 ● — компоненты ЭТЦ хлоропластов, ■ — компоненты ЭТЦ митохондрий

После этого они передаются первичным акцепторам электронов (феофитину) и оказываются на энергетической горке. К пигменту  $P_{700}$  электроны передвигаются самопроизвольно, теряя при этом часть энергии, которая тратится на фотохимическую работу – синтез важнейшего энергетического эквивалента – АТФ в процессе *сопряженного* фотосинтетического фосфорилирования.

На уровне длинноволновой формы хлорофилла –  $P_{700}$  электроны вновь получают порцию энергии, поглотив кванты света, и поднимаются на вторую энергетическую горку, присоединяются к  $NADP^+$ , в результате чего образуется  $NADPH+H^+$ . К этой молекуле присоединяется протон воды (образовавшийся после ухода электрона от водорода воды – фотоокисления воды) и в итоге образуется второй высокоэнергетический эквивалент –  $NADPH+H^+$ , обладающий большим запасом потенциальной энергии. Электроны (водороды) энергетических эквивалентов – АТФ и  $NADPH+H^+$ , используются в темновой фазе фотосинтеза для восстановления углерода углекислого газа до углерода углеводов. Таким образом, в процессе фотосинтеза произошел перевод электронов воды, которые находились в составе этой молекулы на низком энергетическом уровне, на более высокие энергетические орбитали углеводов, благодаря чему последние стали обладать большим запасом потенциальной энергии.

Химические связи углеводов, образовавшихся в процессе фотосинтеза, очень устойчивы, поэтому их энергия не может быть потрачена непосредственно на процессы жизнедеятельности. Для этого ее необходимо преобразовать в лабильную форму энергии. Правая часть схемы как раз и показывает такое

преобразование на электронном уровне в самом общем виде, происходящее в процессе дыхания.

Коферменты дегидрогеназ – NAD (FAD) отнимают от углеводов водорода и сбрасывают их в ЭТЦ митохондрий, конечным акцептором которых является кислород воздуха. Первые компоненты этой цепи переносят  $\bar{e}$  и  $H^+$ , однако для окислительно-восстановительных процессов последующих (расположенных после кофермента Q) элементов необходимы только электроны, протоны же выбрасываются в межмембранное пространство митохондрий. Передвижение  $H$  ( $\bar{e}$  и  $H^+$ ) по дыхательной цепи митохондрий происходит по термодинамическому градиенту и сопровождается поэтапным освобождением энергии, которая используется для синтеза основной энергетической валюты клеток – АТФ в процессе *сопряженного окислительного фосфорилирования*. В конечном итоге  $\bar{e}$  передаются на кислород, и он заряжается отрицательно. В дальнейшем анион кислорода взаимодействует с протоном и образуется вода, в которой электроны водорода вновь оказываются на самом низком энергетическом уровне, обеспечивая молекуле воды большую химическую устойчивость.

Следовательно, сущность энергетического цикла, основу которого составляют фотосинтез и дыхание, сводится к переводу электрона на разные энергетические орбитали неорганических и органических соединений, участвующих в метаболизме клеток. Ключевую роль в понимании энергетического сопряжения между фотосинтезом и дыханием играют принципы электронной теории строения вещества.

Анализ опубликованных в научной литературе данных и собственные исследования позволяют заключить, что электронная теория вещества является фундаментом не только для курсов физики и химии, но и биологии. Она является методологией глубинного познания структуры и свойств высокомолекулярных соединений, играющих ключевую роль в процессе жизнедеятельности всех типов клеток, существующих на Земле. Познание физико-химических процессов на субмолекулярном уровне позволяет раскрыть их механизмы, управлять ими и удовлетворять те или иные потребности человека. Вместе с тем электронная теория вещества является и фундаментальной методологией изучения объектов неживой и живой природы как в вузе, так и в школе.

В нашем исследовании реализация постулатов и методов электронной теории вещества при изучении курсов химии и биологии позволила школьникам и студентам предвидеть в каждом конкретном случае, какие молекулы будут играть роль доноров, а какие – акцепторов электронов, что, несомненно, открывает большие перспективы в управлении химическими реакциями, а также физиолого-биохимическими процессами клеток, лежащими в основе их жизнедеятельности как в норме, так и при патологии. Электронная теория вещества как фундаментальная методология позволяет выявить физико-химическую сущность физиологических процессов на элементарном уровне, понять взаимосвязь физических, химических и биологических явлений, а через них и взаимосвязь (преemptивность) форм движения материи. Это внесет весомый

*вклад в формирование научного мировоззрения школьников и студентов.*

Приведенный пример использования понятия *сопряжение* для проникновения в сущности все более и более высокого порядка, подтверждает его *значительную информационную емкость и статус естественнонаучной категории*. Именно этим положениям может быть определена ценность данного исследования, как для науки, так и для образования.

Отражая сущность одной из внутренних сторон взаимодействия, категория сопряжения расширяет границы нашего понимания о принципах структурной организации материи в целом, благодаря чему открываются новые перспективы, новые подходы к решению важнейших проблем науки и их роли в понимании структуры *рационального познания*. Как логическая форма мышления *сопряжение выражает содержание других форм рационального познания*, и в частности, такой формы нормативного знания, как *стиль научного мышления*, который востребован в настоящее время, как в области науки, так и в области образования.

Овладение студентами сопряжением как естественнонаучной категорией способствует развитию у будущих педагогов диалектического, творческого мышления, которое в настоящее время все больше осознается как общечеловеческая *ценность*.

## ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1. Формирование и развитие сопряженных физиологических понятий «фотосинтез» и «дыхание» на теоретическом уровне в школьном курсе биологии возможно, если будет пересмотрена последовательность изучения и содержание предметов естественнонаучного цикла в соответствии с *Новой концепцией естественнонаучного образования*, разработанной Академиком РАО А.В. Усовой, предусматривающей опережающее изучение физики (начиная с 5 класса) и химии (начиная с 6 класса). Данная концепция предусматривает также координацию программ, учебников, деятельность учителей с целью осуществления преемственности физики, химии и биологии при формировании фундаментальных понятий, которые являются основой для формирования общебиологических понятий, в том числе и таких понятий, как «фотосинтез» и «дыхание». Реализация такой образовательной *стратегии* возможна только на основе принятия решения на Государственном уровне.

2. *Тактическое* решение обозначенной выше проблемы может быть сведено к включению в программу по биологии (раздел «Растения») пропедевтической темы «Генетическая связь неживой и живой природы», позволяющей заложить основополагающие философские, естественнонаучные, физические и химические понятия, которые станут фундаментом для понимания сущности всех биологических явлений. Подобная инновация также была апробирована в некоторых школах города и области.

3. В рамках проведения педагогического эксперимента были апробированы как стратегический, так и тактический подходы к реализации Новой концепции естественнонаучного образования. Вполне ожидаемо, что стратегический подход

оказался более эффективным, однако он требует существенных изменений во всем естественнонаучном образовании, которые могут быть внесены и утверждены только на правительственном уровне. Тактический подход также оказался достаточно эффективным. Кроме того, этот подход имеет определенное преимущество, так как его реализация на практике будет лимитироваться лишь компетентностью учителя.

4. При изучении процессов фотосинтеза и дыхания и установлении связи между ними на уровне целого растения, а затем на уровне клетки мы *закладываем методологические основы для изучения всего курса биологии.*

1) Формируем основополагающие понятия и законы теоретической биологии:

– даем общее представление об обмене веществ и энергии на организменном, клеточном и молекулярном уровнях;

– закладываем основы понятий «*ассимиляция*» (анаболизм) и «*диссимиляция*» (катаболизм) на примере фотосинтеза и дыхания;

– показываем проявление закона сохранения и превращения вещества и энергии при раскрытии сущности отдельных этапов фотосинтеза и дыхания.

2) Знакомим с проявлением законов и категорий материалистической диалектики:

– единства и борьбы противоположностей (на примере сходства и различия фотосинтеза и дыхания);

– перехода количества в качество (при рассмотрении вопроса об образовании органических веществ из неорганических в процессе фотосинтеза).

3) Конкретизируем взаимосвязь неживой и живой природы, используя принцип сопряжения как внутреннюю сторону взаимодействия, отражающую организацию и эволюцию различных форм движения материи.

Поставив преподавание этих тем на научный (теоретический) уровень, мы вправе ожидать и серьезного отношения обучающихся к изучению не только раздела «Растения», но и курса биологии в целом. Кроме того, теоретические основы понимания сущности фотосинтеза и дыхания, полученные *обучающимися* в школе, позволят им в дальнейшем, при обучении в вузе, понять эти процессы на уровне достижений современной науки и использовать эти знания в своей практической деятельности.

5. В работе представлены результаты анализа школьных учебников биологии. Выявлены недостатки и даже ошибки в интерпретации сущности фотосинтеза и дыхания. Приведены рекомендации по их устранению.

6. При изучении конкретных явлений природы в предметах естественнонаучного цикла *студенты* реально обнаруживают *диалектику развития материи*. Особое значение при этом приобретает овладение категорией «сопряжение», которая позволяет обобщить естественнонаучные и философские представления о мире. Усвоение отдельных категорий, законов и принципов диалектики включается в общую задачу формирования диалектико-материалистического мировоззрения и естественнонаучной картины мира в целом.

7. Методологический потенциал сопряжения как естественнонаучной категории познания достаточно ярко высвечивается при изучении биологической формы движения материи, которая «в *скрытом виде*» включает в себя физическую и химическую формы движения. Этот потенциал нами раскрыт при анализе физико-химической природы самого уникального и глобального процесса нашей планеты – фотосинтеза. Сопряжение как принцип организации и функционирования материи «работает» на разных уровнях организации фотосинтетического аппарата, начиная с электронного уровня (*сопряженные системы*

*п-электронов*), на уровне химических реакций (*сопряженные окислительно-восстановительные реакции*), и заканчивая уровнем хлоропластов, которые называют *сопряженными оргanelлами*. Понятие «сопряжение» определяло в ходе научных исследований стратегию изучения фотофизического, фотохимического и биохимического этапов фотосинтеза и оно же должно определять стратегию их познания школьниками и студентами при изучении курса биологии. Усвоение категории сопряжения школьниками и студентами и сознательное ее применение при формировании и развитии понятия «фотосинтез», одновременно вооружить их и эффективным методологическим средством познания, способствующим формированию научной картины мира и мировоззрения в целом.

8. Информационная емкость категории сопряжения выявлена на примере разбора сущности сопряженных механизмов превращения вещества и энергии в процессе *дыхания*, лежащих в основе жизнедеятельности всех биологических объектов, обитающих на нашей планете. Такие механизмы выявлены и конкретизированы на организменном, клеточном, мембранном, молекулярном и электронном уровнях организации живых систем.

9. Углубление методологического потенциала категории «сопряжение» как внутренней стороны взаимодействия имело место на примере изучения механизмов взаимосвязи между уникальными процессами растительной клетки – фотосинтезом и дыханием на электронном уровне. Последовательные сопряженные процессы выступают как существенная сторона организации динамических неравновесных систем». Примерами подобных систем являются возникшие в ходе химической эволюции каталитические сопряженные системы, к которым относятся процесс фотосинтеза и дыхания. Элементарные стадии этих процессов оказываются не разделенными, потому что имеют общие

метаболиты и вследствие их *энергетической сопряженности*. Разработанная модель «Энергетическое состояние электрона в метаболитах фотосинтеза и дыхания» отражает сущность сопряжения между фотосинтезом и дыханием на электронном уровне.

10. Овладение категорией *сопряжения*, которая позволяет конкретизировать идеи диалектического материализма, *усвоить их как метод познания и преобразования материального мира*. Проведенные нами исследования свидетельствуют, что принцип сопряжения позволяет понять сущность объектов и явлений на разных уровнях организации материальных объектов, начиная с электронного уровня и заканчивая биосферным уровнем. Осмысление и понимание *сопряжения* как фундаментального принципа организации и развития материи позволяет спроецировать его в образовательную область и рассматривать в качестве важнейшего *дидактического принципа* изучения биологических дисциплин в вузе.

11. Сопряжение как самостоятельный *дидактический принцип* определит стратегию всех компонентов процесса обучения: цели, задач, содержания, форм, методов, средств и результатов. Реализация этой стратегии позволит сконструировать дидактическую систему, в которой перестраиваются все этапы деятельности преподавателя и студента. Отражая взаимосвязь объектов и явлений природы, *принцип сопряжения* играет важную роль в формировании ядра научной картины мира, которая, в свою очередь, является базой для формирования у студентов научного мировоззрения и экологического сознания. Овладение студентами сопряжением как категорией диалектики способствует развитию у будущих педагогов диалектического, творческого мышления, которое в настоящее время все больше осознается как общечеловеческая ценность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Необходимость изменения качества биологического образования в настоящее время осознана на государственном уровне. Перед школой поставлена задача постепенного обновления структуры и содержания общего среднего образования, создания равных возможностей для всех обучающихся в получении качественного образования. Согласно государственным документам: «в школьном курсе биологии должны найти отражение подходы, обозначенные в федеральном компоненте государственного стандарта общего образования: реализация системно-деятельностного подхода за счет включения в содержание биологического образования определенных способов учебной деятельности, как интеллектуальной, так и практической, *выдвижение на первый план общебиологических знаний и умений* применять их для анализа и интерпретации второстепенных, частных фактов».

Опираясь на данную стратегию и учитывая результаты проведенного ранее эксперимента в школах города Челябинска и области в рамках реализации Новой концепции естественно-научного образования, разработанной академиком РАО А.В. Усовой, а также инновационные идеи ведущих методистов, предлагается принципиально новый подход к формированию таких важнейших общебиологических понятий, как «фотосинтез» и «дыхание», который позволяет формировать данные понятия уже в 6 классе не только на эмпирическом, но и на теоре-

тическом уровне. Такая необходимость детерминирована фундаментальностью и значимостью этих процессов для всего живого на планете Земля.

Выбор темы исследования не случаен. Фотосинтез является основой анаболизма не только для растений, но и для всех живых организмов на Земле, в то время как дыхание является основой катаболизма для всех биологических объектов. В свою очередь анаболизм и катаболизм являются звеньями метаболизма (обмена веществ), который определяет жизнедеятельность любого организма. Поэтому от уровня сформированности данных понятий у школьников и студентов будет зависеть и уровень сформированности общебиологических знаний и умений, что в конечном итоге скажется на качестве биологического образования и экологическом сознании каждого человека.

При изучении конкретных явлений живой природы в предметах биологического цикла перед школьниками и студентами обнажается реальная *диалектика развития материи*. Поэтому при изучении курса биологии важно обобщить конкретно-научные и философские представления о мире. Особое значение при этом приобретает овладение обоснованной нами ранее категорией *сопряжения*, которая позволяет конкретизировать идеи диалектического материализма, *усвоить их как метод познания и преобразования материального мира*.

Благоприятным материалом для осмысления и понимания *сопряжения* как фундаментального принципа организации и развития материи является тема «Углеродное питание растений», в основе которого лежат два уникальных процесса – фотосинтез и

дыхание, обеспечивающие растительные организмы энергетическим и пластическим материалом. В работе убедительно доказано, что сопряжение как принцип организации и функционирования материи «работает» на разных уровнях организации фотосинтетического и дыхательного аппаратов, начиная с электронного уровня и кончая уровнем целостного растительного организма.

Усвоение категории *сопряжения* школьниками и студентами и сознательное ее применение при формировании и развитии понятий «фотосинтез» и «дыхание» одновременно вооружить их и эффективным методологическим средством познания, способствующим формированию научной картины мира и мировоззрения в целом.

Овладение студентами сопряжением как категорией диалектики способствует развитию у будущих педагогов диалектического, творческого мышления, которое в настоящее время все больше осознается как общечеловеческая *ценность*. Проекция сопряжения в образовательную область позволяет рассматривать его в качестве важнейшего *дидактического принципа реализации* системно-деятельностного подхода к формированию профессиональных компетенций будущих учителей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Албертс, Б. Молекулярная биология клетки / Б. Албертс. – 2013.
2. Алешин, А.И. О типологии теоретических исследований в современной биологии / А.И. Алешин // Биология и современное научное познание: материалы конф.: в 2 ч. – М.: Наука, 1980. – 367 с.
3. Аптер, М. Кибернетика и развитие: пер. с англ. / М. Аптер; ред. И.И. Пятницкий-Шапиро. – М.: Мир, 1970. – 215 с.
4. Арсеньев, А.С. Анализ развивающегося понятия / А.С. Арсеньев, В.С. Библер, В.М. Кедров. – М.: Наука, 1967. – 439 с.
5. Березин, Б.Д. Курс современной органической химии: учеб. пособие для вузов / Б.Д. Березин, Д.Б. Березин. – М.: Высш. шк., 1999. – 768 с.
6. Бернштейн, Н.А. От рефлекса к модели будущего / Н.А. Бернштейн // Вопр. психологии. – 2002. – № 2. – С. 94–98.
7. Биологический энциклопедический словарь / гл. ред. М.С. Гиляров. – М.: Сов. энциклопедия, 1986. – 831 с.
8. Богданов, А.А. Тектология: Всеобщая организационная наука / А.А. Богданов. – М.: Экономика, 2003. – 496 с.
9. Борзенков, В.Г. Теоретическая биология: размышления о предмете / В.Г. Борзенков, А.С. Северцев. – М.: Знание, 1980. – 64 с. – Серия 9, Биология.
10. Верзилин, Н.М. Общая методика преподавания биологии: учеб. для студ. биол. фак. пед. ин-тов / Н.М. Верзилин, В.М. Корсунская. – М.: Просвещение, 1972. – 368 с.
11. Вернадский, В.И. Биогеохимические очерки / В.И. Вернадский (1922–1932). – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1940. – 249 с.
12. Винер, Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. – 2-е изд. / Н. Винер. – М.: Наука, 1983. – 343 с.

13. Волкова, Э.Э. Междисциплинарные взаимодействия: поиск путей решения в школе / Э.Э. Волкова, М.В. Занин, М.П. Кузнецова // Биология в школе. – 1990. – № 6. – С. 52–54.
14. Волькенштейн, М.В. Биофизика / М.В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1981. – 575 с.
15. Выготский, Л.С. Избранные психологические исследования / Л.С. Выготский. – М.: Изд-во АН РСФСР, 1956. – 520 с.
16. Гамезо, М.В. Психологические аспекты методологии и общей теории знаков и знаковых систем / М.В. Гамезо, Б.Ф. Ломов, В.Ф. Рубахин // Психологические проблемы переработки знаковой информации. – М., 1977. – С. 5–48.
17. Гегель, Г.В. Сочинения / Г.В.Ф. Гегель // Собр. соч.: в 13 т. – М.–Л.: Соцэргиз, 1937. – Т. 5. Наука логики. – 715 с.
18. Гордон, А. Стенограммы [Электронный ресурс] / А. Гордон. – Режим доступа: <http://www.ntv.ru/gordon/-archive/2003/>, 16.12. 2005.
19. Горелов, А.А. Концепции современного естествознания: учеб. пособие, практикум, хрестоматия / А.А. Горелов. – М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 1998. – 512 с.
20. Грин, Н. Биология: в 3 т. / Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор; пер. с англ.; под ред. Р. Сопера. – М.: Мир, 1990. – Т. 1. – 368 с.
21. Даммер, М.Д. Методические основы построения опережающего курса физики основной школы / М.Д. Даммер. – Челябинск: ЧГПУ, 1996. – 241 с.
22. Даммер, М.Д. Методические основы построения опережающего курса физики основной школы: дис. ... д-ра пед. наук / М.Д. Даммер. – Челябинск, 1997. – 443 с.
23. Джордж, Ф. Мозг как вычислительная машина: пер. с англ. / Ф. Джордж. – М.: Изд-во иностранной лит., 1963. – 528 с.
24. Дубинин, Н.П. Биология – ключевой предмет сегодняшней школы / Н.П. Дубинин, Н.А. Мягков // Биология в школе. – № 1. – 1990. – С. 16–18.
25. Дубинин, Н.П. Общая генетика / Н.П. Дубинин. – 2-е изд. – М.: Наука, 1976. – 572 с.

26. Задачи и задания, требующие комплексного применения знаний по физике, химии, биологии и физической географии / А.В. Усова. – 3-е изд. испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2005. – 42 с.
27. Зверев, И.Д. Интеграция и «интегративный предмет» / И.Д. Зверев // Биология в школе. – 1991. – № 5. – С. 46–49.
28. Каменский, А.А. Биология. Общая биология. 10–11 классы: учеб. для общеобразоват. учреждений / А.А. Каменский, Е.А. Криксунов, В.В. Пасечник. – 4-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2008. – 367 с.
29. Кедров, Б.М. Предмет и взаимосвязь естественных наук / Б.М. Кедров. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 412 с.
30. Клементьев, В.Е. Образование как предмет познания [Электронный ресурс] / В.Е. Клементьев. – Режим доступа: <http://nature.web.ru/db/msg.html7micNI184924&uri=page7.html>, 07. 12. 2005.
31. Козлова, Т.А. Учебник для профильных классов / Т.А. Козлова // Биология в школе. – № 3. – 2005. – С. 58–60.
32. Коменский, Я.А. Избранные педагогические сочинения / Я.А. Коменский – М.: Педагогика, 1955. – 287 с.
33. Комиссаров, Б.Д. Методологические проблемы школьного биологического образования / Б.Д. Комиссаров. – М.: Просвещение, 1991. – 160 с.
34. Комиссаров, Б.Д. Разноуровневая программа по биологии. VI–IX классы / Б.Д. Комиссаров, И.Д. Зверев, Д.Д. Утешинский, Л.П. Анастасова // Программы для образовательных учреждений. Биология. – М.: Просвещение, 1994. – 143 с.
35. Комиссаров, Г.Г. Химия и физика фотосинтеза / Г.Г. Комиссаров. // Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Химия». – М.: Знание. – 1980. – № 2. – 64 с.
36. Компетентностный подход в педагогическом образовании. Коллективная монография / под ред. Козырева и Н.Ф. Родионовой. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2004. – 391 с.
37. Копнин, П.В. Диалектика, логика, наука / П.В. Копнин. – М.: Наука, 1973. – 464 с.
38. Краткий философский словарь / А.П. Алексеев, Г.Г. Васильев и др.; под ред. А.П. Алексеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Велби: Проспект, 2004. – 496 с.

39. Кретович, В.Л. Биохимия растений: учеб. для биол. фак. ун-тов / В.Л. Кретович. – М.: Высш. школа, 1980. – 445 с.
40. Круговорот веществ в природе и его изменение хозяйственной деятельностью человека. – М.: МГУ, 1980. – 272 с.
41. Кузнецов, И.В. Принцип соответствия в современной физике и его философское значение / И.В. Кузнецов. – М., 1948. – 116 с.
42. Кэмп, П. Введение в биологию: пер. с англ. / П. Кэмп, К. Армс. – М.: Мир, 1988. – 671 с.
43. Ленин, В.И. Материализм и эмпириокритицизм / В.И. Ленин // Полн. собр. соч. – 5-е изд. – М.: Политиздат, 1980. – Т. 18. – 525 с.
44. Ленин, В.И. Философские тетради / В.И. Ленин // Полн. собр. соч. – 5-е изд. – М.: Политиздат, 1963. – Т. 29. – 782 с.
45. Леонтьев, А.Н. Философия психологии: из научного наследия / А.Н. Леонтьев; под ред. А.А. Леонтьева, Д.А. Леонтьева. – М.: МГУ, 1994. – 288 с.
46. Лисеев, И.К. Современная биология и формирование новых регулятивов культуры (философский анализ): дис. в виде науч. докл. на соискание ученой степени д-ра философ. наук / И.К. Лисеев. – М., 1995.
47. Максимова, В.Н. Межпредметные связи в процессе обучения / В.Н. Максимова. – М.: Просвещение, 1988. – 192 с.
48. Максимова, В.Н. Межпредметные связи и совершенствование процесса обучения: кн. для учителя / В.Н. Максимова. – М.: Просвещение, 1984. – 143 с.
49. Маркс, К. Сочинения: в 30 т. / К. Маркс, Ф. Энгельс. – 2-е изд. – М.: Госполитиздат, 1961. – Т. 23. – С. 188.
50. Материалистическая диалектика как общая теория развития / под ред. академика Л.Ф. Ильичева. – М.: Наука, 1982. – 464 с.
51. Международное мониторинговое исследование качества школьного математического и естественнонаучного образования TIMSS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/TIMSS>
52. Межпредметные связи естественно-математических дисциплин. Пособие для учителей: сб. статей / под ред. В.Н. Федоровой. – М.: Просвещение, 1980. – 208 с.

53. Николс, Д. Биоэнергетика. Введение в хемиосмотическую теорию: пер. с англ. / Д. Николс. – М.: Мир, 1985. – 190 с.
54. Новицкая, И.Л. Школьному курсу биологии – единую теоретическую основу / И.Л. Новицкая // Биология в школе. – 1991. – № 1. – С. 27–30.
55. Общая биология: учеб. для 10–11 кл. общеобр. учеб. заведений / В.Б. Захаров, С.Г. Мамонов, Н.И. Сонин. – 3-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2000. – 624 с.
56. Общая биология: учеб. для 9–10 кл. сред. шк. / Ю.И. Полянский, Д.А. Браун, Н.М. Верзилин и др.; под ред. Ю.И. Полянского. – 18-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1988. – 287 с.
57. Общая биология: учеб. для 9–10 классов школ с углубленным изучением биологии / А.О. Рувинский, Л.В. Высоцкая, С.М. Глаголев и др.; под ред. А.О. Рувинского. – М.: Просвещение, 1993. – 544 с.
58. Основные результаты международного исследования качества математического и естественнонаучного образования TIMSS-2003. – М.: Центр оценки качества образования ИСМО РАО, 2004. – 101 с.
59. Пак, М. Теоретические основы интегративного подхода в процессе химической подготовки учащихся профтехучилищ: дис. ... д-ра пед. наук / М. Пак. – СПб., 1991. – 342 с.
60. Пасечник, В.В. Бактерии, грибы, растения: 6 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / В.В. Пасечник. – 9-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2006. – 272 с.
61. Певин, Н.М. Управление чувственным познанием школьников на основе знаковой учебной модели [Электронный ресурс] / Н.М. Певин, Р.Д. Певина. – Режим доступа: <http://go.mail.ru/cached?α=cfche:7amKV45EICOJ:htt%3A%2F%2Fwww/infor-mika...> 21.11. 2005.
62. Педагогический энциклопедический словарь / гл. ред. Б.М. Бим-Бад. – М.: Большая Российская энциклопедия, 2003. – 528 с.
63. Петров, А.В. Развивающее обучение. Основные вопросы теории и практики вузовского обучения физике: монограф. / А.В. Петров. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ «Факел», 1997. – 261 с.
64. Писарчук, Е.А. Еще раз о концепции интеграции естественнонаучных знаний / Е.А. Писарчук, О.В. Щербан // Биология в школе. – 1991.– № 1. – С. 53–55.

65. Полевой, В.В. Физиология растений: учеб. для биол. спец. вузов / В.В. Полевой. – М.: Высш. шк., 1989. – 464 с.
66. Полянский, Ю.И. Не могу молчать / Ю.И. Полянский // Биология в школе. – № 6. – 1989. – С. 48–49.
67. Пономарёва, И.Н. Биология: 6 класс: учеб. для общеобразоват. учреждений / И.Н. Пономарёва, О.А. Корнилова, В.С. Кучменко; под ред. проф. И.Н. Пономаревой. – 3-е изд, перераб. – М.: Вентена-Граф, 2010. – 240 с.
68. Похлебаев, С.М. Методологические и деятельностные основы формирования фундаментальных естественнонаучных понятий: монография / С.М. Похлебаев, И.А. Третьякова. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2011. – 283 с.
69. Похлебаев, С.М. Особенности формирования сопряженных физиологических понятий «фотосинтез» и «дыхание» в разделе «Растения» [Электронный ресурс] / С.М. Похлебаев, И.А. Третьякова // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 5. – Режим доступа: URL: <http://www.science-education.ru/article/view?id=25098> (Дата обращения: 30.08.2016).
70. Похлебаев, С.М. Содержательные основы формирования фундаментальных естественнонаучных понятий: монография / С.М. Похлебаев, И.А. Третьякова. – Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2011. – 246 с.
71. Похлебаев, С.М. Межпредметные связи курсов биологии и физики при опережающем изучении физики: монограф. / С.М. Похлебаев. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2006. – 330 с.
72. Похлебаев, С.М. О методологических основах построения образовательной области «Биология» в учебных стандартах школ России // Вестн. Челяб. гос. пед. ун-та. Серия 2. Педагогика. Психология. Методика преподавания, 2004. – № 8. – С. 218–229.
73. Похлебаев, С.М. Сопряжение и разобщение как диалектическая пара, и ее роль в создании и понимании хемиосмотической теории Митчелла / С.М. Похлебаев, И.А. Третьякова // Наука и школа. – 2011. – № 4. – С. 65–67.
74. Похлебаев, С.М. Сопряжение как фундаментальный принцип организации и развития материи / С.М. Похлебаев, О.С. Похлебаева // Наука и школа, 2009. – № 6. – С. 30–32.

75. Похлебаев, С.М. Теоретико-методологический анализ содержания образовательной области «Биология» в учебных стандартах школ России / С.М. Похлебаев, В.С. Похлебаев // Вестник Челяб. гос. пед. ун-та. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2003. – Серия 10. Экология. Валеология. Педагогическая психология. – С. 167–180.
76. Прангишвили, И.В. Системный подход и общесистемные закономерности / И.В. Прангишвили. – М.: Синтег, 2000. – 528 с.
77. Пурышева, Н.С. О метапредметности, методологии и других универсалиях / Н.С. Пурышева, Н.В. Рцмашкина, О.А. Крысанова // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2012. – № 1 (1). – С. 11–17.
78. Пюльман, Б. Квантовая биохимия / Б. Пюльман, А. Пюльман. – М.: Мир, 1965. – 654 с.
79. Реброва, Л.В. Время ставит проблемы. Решать их нам / Л.В. Реброва // Биология в школе. – 1991. – № 6. – С. 25–28.
80. Реймерс, Н.Ф. Краткий словарь биологических терминов: кн. для учителя / Н.Ф. Реймерс. – 2-е изд. – М.: Просвещение, 1995. – 368 с.
81. Рубин, Б.А., Биохимия и физиология фотосинтеза / Б.А. Рубин, В.Ф. Гавриленко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 328 с.
82. Рубинштейн, С.Л. Основы общей психологии (Серия «Мастера психологии») / С.Л. Рубинштейн. – СПб.: Питер Ком, 1998. – 720 с.
83. Рэкер, Э. Биоэнергетические механизмы: новые взгляды / пер. с англ. М.И. Гольдштейн; под. ред. В.П. Скулачева. – М.: Мир, 1979. – 216 с.
84. Садовский, В.И. Основания общей теории систем / В.И. Садовский. – М.: Наука, 1974. – 258 с.
85. Свирский, М.С. Электронная теория вещества: учеб. пособие для студ. физ.-мат. фак. пед. ин-тов / М.С. Свирский. – М.: Просвещение, 1980. – 288 с.
86. Скулачев, В.П. Рассказы о биоэнергетике / В.П. Скулачев. – 2-е изд. – М.: Молодая гвардия, 1985 – 191 с.
87. Советский энциклопедический словарь / гл. ред. А.М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Сов. энцикл., 1985. – 1600 с.
88. Споры о будущем: Окружающая среда. – М.: Мысль, 1983. – 175 с.
89. Талызина, Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний / Н.Ф. Талызина. – М.: Изд-во МГУ, 1975. – 343 с.

90. Твердохлебов, Г.А. Физиология мышления [Электронный ресурс] / Г.А. Твердохлебов. – Режим доступа: <http://www.statya.ru/index.php?op=view&id=1847>, 23.08. 2003.
91. Тейлор, Д., Биология: в 3 т. / Д. Тейлор, Н. Грин, У. Стаут; под ред. Р. Сопера. – М.: Мир, 2004. – Т. 1. – 368 с.
92. Тейяр де Шарден, Пьер. Феномен человека / Пьер Тейяр де Шарден; перевод и примечания Н.А. Садовского. – М.: Прогресс, 1965. – 554 с.
93. Тимирязев, К.А. Жизнь растения. Десять общедоступных лекций / К.А. Тимирязев. – М.: Гос. изд-во с.-х. лит., 1949. – 334 с.
94. Тимирязев, К.А. Избранные сочинения: в 4 т. / К.А. Тимирязев. – М.: Огиз-сельхозгиз, 1948. – Т. 1. Солнце, жизнь и хлорофилл. – 695 с.
95. Тимирязев, К.А. Исторический метод в биологии: избр. соч.: в 4 т. / К.А. Тимирязев. – М.: Сельхозгиз, 1949. – Т. 3. – 644 с.
96. Тимирязев, К.А. Творчество человека и творчество природы / К.А. Тимирязев // Соч. – М.: Сельхозгиз, 1939. – Т. 4. – 472 с.
97. Тимофеев-Ресовский, Н.В. Уровни организации жизни на земле и среда протекания эволюционных процессов / А.Н. Тюрюканов, В.М. Федоров, Н.В. Тимофеев-Ресовский // Биосферные раздумья. – М., 1996. – 368 с.
98. Трайтак, Д.И. Учебник биологии. Каким ему быть? / Д.И. Трайтак, Г.Г. Швецов // Биология в школе. – 2005. – № 4. – С. 74–78.
99. Третьякова, И.А. Методологическая роль категории «сопряжение» при изучении механизмов дыхания / И.А. Третьякова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12 (4). – С. 870–875.
100. Третьякова, И.А. Методологическая роль понятия «сопряжение» в понимании коэволюции типов обмена веществ и среды обитания организмов [Электронный ресурс] / И.А. Третьякова, С.М. Похлебаев // Наука и школа. – 2011. – № 6. – С. 85–88.
101. Третьякова, И.А. Реализация методологического потенциала категории «сопряжение» при изучении механизмов фотосинтеза [Электронный ресурс] / И.А. Третьякова // Современные проблемы науки и образования, 2014. – № 6. – Режим доступа: URL: <http://www.science-education.ru/120-16069> (Дата обращения: 13.12.2014).

102. Третьякова, И.А. Сопряжение и развитие как сопряженная диалектическая пара рационального познания / И.А. Третьякова // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 6 (часть 2). – С. 449–457.
103. Третьякова, И.А. Сопряжение как внутренняя сторона взаимодействия и методология познания / И.А. Третьякова // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 11 (9). – С. 1929–1933.
104. Третьякова, И.А. Теоретико-методологические основы создания «Эмблемы жизни» и ее роль в формировании экологического мышления и сознания / И.А. Третьякова, В.С. Елагина, С.М. Похлебаев // *Успехи современного естествознания* – 2011. – № 9. – С. 14–18.
105. Усова, А.В. Об усвоении учащимися понятий «вещество» / А.В. Усова, М.Ж. Симонова, О.А. Яворук // *Научные понятия в учебно-воспитательном процессе школы и вуза: тез. докл.* – Челябинск: Изд-во ЧГПИ «Факел», 1995. – Ч. 1. – С. 116–122.
106. Усова, А.В. Проблемы теории и практики обучения в современной школе / А.В. Усова. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2002. – 221 с.
107. Усова, А.В. Межпредметные связи в преподавании основ в школе / А.В. Усова. – 3-е изд., доп. и перераб. – Челябинск: Изд-во ГОУ ВПО «ЧГПУ», 2005. – 21 с.
108. Усова, А.В. Методологические аспекты профессиональной подготовки студентов вузов / А.В. Усова // *Наука. Культура. Образование*. – № 10. – 2002. – С. 68–71.
109. Усова, А.В. Новая концепция естественнонаучного образования и педагогические условия ее реализации / А.В. Усова. – Челябинск: Изд-во ЧГПИ «Факел», 1995. – 38 с.
110. Усова, А.В. Новая концепция естественнонаучного образования и педагогические условия ее реализации / А.В. Усова. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ «Факел», 2000. – 48 с.
111. Усова, А.В. Новая концепция естественнонаучного образования: изд. 2-е / А.В. Усова. – Челябинск.: Изд-во ЧГПУ, 2005. – 45 с.
112. Усова, А.В. Развитие понятий в научном и учебном познании: лекция / А.В. Усова. – Челябинск: Изд-во ГОУ ВПО «ЧГПУ», 2005. – 23 с.
113. Усова, А.В. Теоретико-методологические основы построения новой системы естественнонаучного образования: моногр. /

- А.В. Усова, М.Д. Даммер, С.М. Похлебаев, М.Ж. Симонова; под ред. А.В. Усовой. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 2000. – 100 с.
114. Усова, А.В. Формирование у школьников научных понятий в процессе обучения / А.В. Усова. – 2-е изд., испр. – М.: Изд-во ун-та РАО, 2007. – 310 с.
115. Усова, А.В. Формирование учебных умений и навыков учащихся на уроках физики / А.В. Усова, А.А. Бобров. – М.: Просвещение, 1988. – 112 с.
116. Философия в современной культуре: новые перспективы: (материалы «круглого стола») // Вопросы философии. – № 4. – 2004. – С. 3–53.
117. Философские основания естествознания / под ред. С.Т. Мелюхина, Г.Л. Фурмонова, Ю.А. Петрова и др. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. – 343 с.
118. Философский словарь / под ред. И.Т. Фролова. – 5-е изд. – М.: Политиздат, 1986. – 590 с.
119. Формирование естественнонаучного мышления учащихся при изучении школьного курса биологии: учеб.-метод. комплекс / сост. С.М. Похлебаев. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 1999. – 143 с.
120. Фридман, Л.М. Использование моделирования в обучении / Л.М. Фридман // Вестник ЧГПИ. Сер. 2. Педагогика. Психология. Методика преподавания. – 1995. – № 1. – С. 88–93.
121. Фридман, Л.М. Психолого-педагогическая модель высшего образования / Л.М. Фридман // Вестник ЧГПИ. Сер. 2. Педагогика. Психология. Методика преподавания. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 1995. – № 1. – С. 120–125.
122. Хрипкова, А.Г. О создании интегрированного курса «Естествознание» / А.Г. Хрипкова, А.Н. Мягкова, Г.С. Калинова // Биология в школе. – 1988. – № 5. – С. 20–26.
123. Хуторской, А.В. Дидактическая эвристика. Теория и технология креативного обучения / А.В. Хуторской. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 416 с.
124. Цибулевский, А.Ю. Биология для поступающих в вузы: структурированный курс / А.Ю. Цибулевский, С.Г. Мамонтов. – М.: Изд-во Академия, 2004. – 698 с.

125. Четвериков, С.С. О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики / С.С. Четвериков // Экспериментальная биология. – 1926. – № 2. – Вып. 1. – С. 3–54.
126. Шаталов, А.Т. К проблеме становления биофилософии [Электронный ресурс]: электрон. данные / А.Т. Шаталов. – Минск: Белорусская цифровая библиотека LIBRARY.BY, 06 января 2007. – Режим доступа: <http://www.philosophy.ru/>.
127. Швейцер, А. Благоговение перед жизнью / А. Швейцер, пер. с нем. А.А. Гусейнова. – М.: Прогресс. 1992. – 576 с.
128. Шмальгаузен, И.И. Кибернетические вопросы биологии / И.И. Шмальгаузен; под общ. ред. Р.Л. Берг и А.А. Ляпунова. – Новосибирск: Наука, 1968. – 223 с.
129. Шмальгаузен, И.И. Основы эволюционного процесса в свете кибернетики / И.И. Шмальгаузен // Проблемы кибернетики. – М.: Наука, 1960. – Вып. 4.
130. Штоф, В.А. Современные проблемы методологии научного познания / В.А. Штоф. – Л.: Знание, 1975. – 40 с.
131. Штофф, В.А. Моделирование и философия / В.А. Штофф. – М., Л.: Наука, 1966. – 302 с.
132. Шубинский, В.С. Формирование диалектического мышления у школьников / В.С. Шубинский. – М.: Знание, 1979. – 48 с.
133. Энгельс, Ф. Диалектика природы / Ф. Энгельс. – М.: Политиздат, 1987. – 349 с.
134. Яворук, О.А. Естествознание (интегративный курс для учащихся старших классов средней школы): учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЧГПУ, 1998, Часть 1. – 77 с.
135. Якушкина, Н.И. Физиология растений / Н.И. Якушкина, Е.Ю. Бахтенко. – М.: Владос, 2004. – 464 с.
136. Benjamin A.C. The logical structure of sciences. London / A.C. Benjamin. – 1936 – P. 256.
137. Carpinskaya, R.S. Biophilosophy – new investigation trend / R.S. Carpinskaya // XIX World Congress of Philosophy. – Moscow, 22–28 Aug. – 1993. – Vol. 1. – Sec. № 14.

