

УДК 371

ББК 74.202.4

DOI: 10.31862/1819-463X-2025-5-217-227

5.8.2. Теория и методика обучения и воспитания

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ХАРДИ – ВАЙНБЕРГА ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ МИКРОЭВОЛЮЦИИ С ЦЕЛЮ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Л. Н. Сухорукова, Е. А. Блинков, Е. А. Дмитриева

Аннотация. Актуальность статьи обусловлена важностью повышения возможностей содержания среднего общего биологического образования в развитии обучающихся на основе интеграции законов и теорий биологии с понятиями математики и теории вероятностей. Объекты исследования науки о жизни – сверхсложные живые системы разных уровней организации, охарактеризовать которые невозможно без математических приемов, формул и методов. Наиболее математизированная область биологии – генетика популяций. Она связана с изучением систем популяционно-видового уровня, существующих во времени как поток организмов, генетическая неоднородность которых приводит в действие естественный отбор. В связи с чем положения синтетической теории эволюции (СТЭ) строятся на основе математического закона популяционной генетики – Харди – Вайнберга. Этот закон длительный период был исключен из содержания учебников биологии 10–11-х классов. Однако в настоящее время в 27-й линии ЕГЭ появились задачи по генетике популяций, требующие его применения. Чтобы успешно решать такие задачи, важно не только научиться применять знания математики и теории вероятностей, но и иметь представление об истории синтеза классического дарвинизма и генетики, понимать содержание таких понятий, как «теория», «закон», «идея», «идеализированные объекты», «эмпирический и теоретический способы познания». Цель статьи: раскрыть потенциальные возможности синтетической теории эволюции для развития системного мышления старших школьников на основе рассмотрения ее как дедуктивной теоретической конструкции, ведущие идеи и положения которой выводятся из математического закона на основе понимания методологии научного познания и теории вероятностей.

© Сухорукова Л. Н., Блинков Е. А., Дмитриева Е. А., 2025



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International License
The content is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Ключевые слова: интеграция, теория как высшая форма развития научного знания, ее структура и функции, идеализированные модели познания, синтетическая теория эволюции – неодарвинизм, генофонд, популяция как элементарная эволюционная структура, закон Харди – Вайнберга, факторы микроэволюции.

Для цитирования: Сухорукова Л. Н., Блинков Е. А., Дмитриева Е. А. Применение закона Харди – Вайнберга при изучении закономерностей микроэволюции с целью формирования теоретического мышления обучающихся // Наука и школа. 2025. № 5. С. 217–227. DOI: 10.31862/1819-463X-2025-5-217-227.

APPLICATION OF THE HARDY-WEINBERG LAW IN STUDYING THE REGULARITIES OF MICROEVOLUTION FOR THE PURPOSE OF FORMING THEORETICAL THINKING OF STUDENTS

L. N. Sukhorukova, E. A. Blinkov, E. A. Dmitrieva

Abstract. *The article is relevant due to the importance of increasing the possibilities of the content of secondary general biological education in the development of students' thinking based on the integration of the laws and theories of biology with the concepts of mathematics and probability theory. The objects of life science research are highly complex living systems of different levels of organization, which cannot be characterized without mathematical techniques, formulas and methods. The most mathematized field in biology is population genetics. It is related to the study of population-species-level systems that exist over time as a stream of organisms, the genetic heterogeneity of which drives natural selection. In this connection, the provisions of the synthetic theory of evolution (STE) are based on the mathematical law of population genetics – the Hardy-Weinberg law. For a long period, this law was excluded from the content of biology textbooks for grades 10–11. However, currently, in its 27th line The Unified State Exam has introduced problems on population genetics that require its application. To successfully solve them, it is important not only to learn how to apply the knowledge of mathematics and probability theory, but also to have an idea of the history of the synthesis of classical Darwinism and genetics, to understand the content of such concepts as “theory”, “law”, “idea”, “idealized objects”, “empirical and theoretical ways of cognition”. The purpose of the article is to reveal the potential of the synthetic theory of evolution for the development of thinking of high school students based on its consideration as a deductive theoretical construct, the leading ideas and provisions of which are derived from a mathematical law based on an understanding of the methodology of scientific cognition and probability theory.*

Keywords: *integration, theory as the highest form of scientific knowledge development, its structure and functions, idealized models of cognition, synthetic theory of evolution – neo-Darwinism, gene pool, population as an elementary evolutionary structure, Hardy-Weinberg law, microevolution factors.*

Cite as: Sukhorukova L. N., Blinkov E. A., Dmitrieva E. A. Application of the Hardy – Weinberg Law in Studying the Regularities of Microevolution for the Purpose of Forming Theoretical Thinking of Students. *Nauka i shkola*. 2025, No. 5, pp. 217–227. DOI: 10.31862/1819-463X-2025-5-217-227.

В современной науке строятся интегративные картины мира (естественнонаучная, философская, универсального эволюционизма), бурно развиваются синтетические области научного знания, такие, например, как синергетика. Процесс интеграции в науке отражается и на учебном познании.

Под интеграцией как педагогическим явлением наиболее общепринято понимать процесс и результат взаимопроникновения, взаимосвязи, синтеза знаний и способов деятельности различных предметов. Такой процесс обязательно предполагает согласованность содержания образования на основе межпредметных связей, служащих аналогом связей межнаучных. Интеграция прежде всего направлена на развитие познавательной мотивации и мышления обучающихся, формирование целостного восприятия законов и теорий науки.

С методологических позиций законы – компоненты теории, выражающие наиболее общие, повторяющиеся и устойчивые связи между явлениями [1]. Теорию общепринято рассматривать как высшую форму развития знания, в рамках которой отдельные понятия, гипотезы и законы теряют прежнюю автономность и становятся элементами целостной системы [1–3]. Основу теории составляет ее концептуальный аппарат, в котором выделяют: ведущие принципы (идеи), положения (законы), идеализированные модели. Идея – главный, определяющий элемент теории, лежащий в ее основе. Если опровергается идея, теория рушится как карточный домик [1]. Согласно В. С. Швырёву, «Идеализированная (теоретическая) модель является не реальным предметом, а понятийной конструкцией. Поэтому она не выводится из эмпирии. Построение теоретической модели представляет собой важный диалектический скачок в развитии научного познания, связанный с интенсивными усилиями творческой мысли ученых» [4, с. 328]. В связи с чем мысленная деятельность с идеализированными моделями реальности трактуется философами как метод теоретического познания – мысленный эксперимент. Не менее важный компонент теории и наиболее обширная ее часть – следствия – суждения и законы, выведенные из ее положений.

Теории в научном познании выполняют разные функции, среди которых общепринято выделять систематизирующую, объяснительную, прогностическую и синтезирующую. Согласно Н. К. Вахтомину, систематизация упрощает знание, рационально его организует [1]. Под объяснительной функцией теории понимается включение объясняемого явления в ее структуру. Объяснение состоит из объясняющих положений (эксплананса) и того, что объясняется (экспландума). В естественнонаучных теориях в качестве эксплананса выступают законы, поэтому «... всякое объяснение, в конечном счете, представляет собой ссылку на некоторый закон» [2, с. 159]. «Благодаря прогностической функции теория позволяет предсказывать неизвестные факты, осмысливать экспериментальные данные, определять направление дальнейшего исследования» [2, с. 112]. Выражением синтетической функции служит присущая теории «тенденция к эксплансии» – проникновению в сферу компетенции других теорий и научных дисциплин [2, с. 112].

Рассмотренные компоненты теорий и их функции по-разному отражаются в типах теорий. Л. Б. Баженов выделяет «...описательные, математизированные и дедуктивизированные (гипотетико-дедуктивные – ГДТ) теории» [2 с. 11]. В. С. Стёпин отмечает, что ГДТ представляют собой скорее идеал современной науки, чем ее фактическое состояние [5]. Промежуточное положение занимают математизированные теории. В своей основе они описательны, но широко используют математическое моделирование [2].

Одна из ведущих теорий биологии – синтетическая теория эволюции (СТЭ). С методологической точки зрения ее структура приближается к гипотетико-дедуктивной модели [6; 7]. Синтез классического дарвинизма и генетики привел к объединению в СТЭ двух фундаментальных идей биологии – дискретной природы наследственности Г. Менделя и естественного отбора Ч. Дарвина [8]. Кроме того, концептуальный аппарат СТЭ составили теоретическая модель идеальной популяции, математический закон Харди – Вайнберга и выводимые из него положения об элементарной эволюционной единице, материале и факторах эволюции [9]. Вместе с тем, согласно М. Рьюизу, «...некоторые положения эволюционной теории дедуктивно независимы от популяционной генетики (постулаты о структуре вида, характере видообразования) или «эскизно намечены», представляют собой гипотезы (положения о связи микро- и макроэволюции)» [9, с. 19]. Недостаточно связаны положения теории и с ее следствием – законом необратимости эволюционного процесса. Из-за широты и сложности охватываемых проблем некоторые положения теории находятся в стадии становления, являются дискуссионными [8; 9].

В процессе организации учебного познания важно понимать, что любая теория концентрирует вокруг себя все содержание изучаемой темы, организует ее построение с учетом своего концептуального аппарата и выполняемых функций. В связи с чем СТЭ должна изучаться на основе тесной связи с математическим законом Харди – Вайнберга [6; 10].

Однако в практике обучения роль этого закона недооценивалась, он то вводился, то исключался из содержания учебников 10–11-го классов. Большинство учителей не понимали, зачем изучать идеальную популяцию, если ее нет в природе. Авторы учебников ограничивались построением математической модели закона Харди – Вайнберга и не раскрывали его практическое применение для изучения генофонда природных популяций.

Однако с 2024 г. в 27-й линии ЕГЭ появились задачи по генетике популяций, требующие применения закона Харди – Вайнберга. Решение задач опирается на простые математические действия, такие как: решение уравнения квадрата суммы (при подсчете частоты встречаемости аллелей и генотипов), извлечение квадратного корня и другие, а также на знание теории вероятностей.

Изучению синтетической теории эволюции должна предшествовать краткая информация об истории ее становления. Обучающимся важно сообщить, что развитие генетики и эволюционного учения в начале XX столетия шло обособленно. Более того, генетики выдвигали свои концепции эволюции, в которых преувеличивалось значение наследственной изменчивости (мутационной и комбинативной), а естественному отбору отводилась второстепенная роль браковщика «неудачных» мутаций. Этот период в развитии биологии известен как «генетический антидарвинизм» [7]. Однако противопоставление генетики и дарвинизма было искусственным, так как предмет генетики – явления наследственности и изменчивости, а в эволюционной теории наследственная изменчивость – эволюционный фактор, поставляющий материал для естественного отбора. Поэтому объединение генетики и дарвинизма было неизбежным. Оно началось в 1920-х гг. и закончилось в начале 1940-х. Одним из первых шагов к объединению генетики и классического дарвинизма был сделан С. С. Четвериковым в работе «О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения генетики» (1926). Важную роль в объединении сыграли работы Н. К. Кольцова, Н. В. Тимофеева-Ресовского, а также американских исследователей С. Райта,

Ф. Г. Добржанского и других. Завершилось объединение в 1940-х гг. становлением синтетической теории эволюции [7; 11]. На основе синтеза родилось новое научное направление – популяционная генетика, исследующая процесс микроэволюции в природных популяциях.

К сожалению, историческим аспектам развития современной эволюционной теории уделяется недостаточное внимание не только на базовом, но и на углубленном уровнях обучения биологии. Хотя есть современные учебные пособия, в которых история синтеза данных наук очень обстоятельно и интересно изложена с учетом вклада отечественных ученых [12, с. 88–90].

Дедуктивному построению СТЭ на основе математической модели Харди – Вайнберга также должна предшествовать информация о генофонде как совокупности аллелей особей, составляющих популяцию, и его характеристиках. Важно, чтобы обучающиеся поняли, что эволюционные преобразования в популяции связаны именно с изменением ее генофонда. Для описания генофонда используются символы теории вероятностей, с помощью которых обозначаются частоты встречаемости аллелей (P – доминантного и q – рецессивного) и генотипов. Сумма частот аллелей равна единице ($P + q = 1$) [13].

Непосредственно перед рассмотрением закона Харди – Вайнберга важно поставить проблему: «Почему рецессивные аллели не вытесняются доминантными»? Например, при доминировании аллелей, обуславливающих темные волосы или карие глаза, голубоглазые и светловолосые люди не исчезают из популяции и частота их встречаемости, по-видимому, не уменьшается? Далее логично выдвинуть гипотезу: «Вероятно, в популяции существует какой-то механизм, стабилизирующий частоты аллелей и генотипов».

Для понимания этого механизма следует обратиться к теоретической модели – идеальной популяции. Важно уточнить, что модель – мысленно представляемый объект природы, упрощающий его организацию и в то же время ярко демонстрирующий элементы и связи, интересующие ученого.

Педагогу следует подчеркнуть, что для удобства расчетов особи идеальной популяции отличаются только по одной паре аллелей, например, окраской глаз, а значит, несут всего три генотипа (AA , Aa , aa). Кроме того, в отличие от природной (реальной) идеальную популяцию отличают следующие условия:

- популяция бесконечно велика, к ней можно применять законы вероятности, то есть когда маловероятно, что одно случайное событие может изменить частоту аллелей; скрещивания свободны (происходит случайное образование родительских пар);
- новые мутации не возникают; популяция полностью изолирована, нет миграции особей (носителей генов), отсутствует давление естественного отбора [13].

Согласно закону Харди – Вайнберга, в идеальной популяции частоты доминантного P (A) и рецессивного q (a) аллелей остаются неизменными из поколения в поколение. Более того, остаются постоянными частоты трех генотипов, что выражается уравнением: $P^2 + 2Pq + q^2 = 1$, где P^2 и q^2 – частоты гомозигот – (AA), (aa); $2Pq$ – частоты гетерозигот – (Aa).

Можно не останавливаться (как это обычно принято) на выведении математической модели закона, но очень важно сконцентрировать внимание на его применении к изучению генофонда реальной популяции (эта информация в большинстве учебников отсутствует). Например, следует обратиться к популяции человека, в которой на 10 тысяч нормально пигментированных особей встречается 2 альбиноса. Частота

гомозигот по рецессивному аллелю q^2 составляет 0,0002. Применив уравнение Харди – Вайнберга, получаем:

$$q = \sqrt{0,0002} \text{ или } 0,014 (1,4\%)$$

$$P = 1 - q; 1 - 0,014 = 0,986 (98,6\%)$$

$$P^2 (AA) = 0,986^2 = 0,972 (97,2\%)$$

$$2Pq (Aa) = 2 \cdot 0,986 \cdot 0,014 = 0,027 (2,7\%)$$

Из расчетов видно, что частота аллеля альбинизма и частоты рецессивных гомозигот очень малы. Однако в гетерозиготном состоянии аллель альбинизма несут 2,7% людей, то есть 27 человек на 1 тысячу.

Анализ конкретных примеров применения математической модели закона Харди – Вайнберга к изучению генофонда природных популяций позволяет прийти к очень важному для понимания механизма микроэволюции выводу: рецессивные аллели не проявляются фенотипически, но накапливаются в популяции в гетерозиготном состоянии, образуя скрытый резерв наследственной изменчивости. Именно накопление в популяции скрытых мутаций и служит механизмом, поддерживающим на определенном уровне стабилизацию частот доминантного и рецессивного аллелей, что доказывает выдвинутую гипотезу.

Таким образом, обращение к математической модели Харди – Вайнберга позволило дедуктивно вывести положения теории эволюции о том, что популяция – элементарная эволюционная единица; рецессивные мутации – материал для естественного отбора. Педагогу важно отметить, что идея естественного отбора мелких наследственных изменений объединяет классическую дарвиновскую теорию эволюции с синтетической или неodarвинизмом.

Обращение к математической модели закона Харди – Вайнберга позволяет сравнить эмпирический и теоретический способы биологического познания. Если в основе теоретического познания лежит мышление и метод моделирования, то эмпирическое познание строится на основе чувственного опыта и применения методов наблюдения и эксперимента. Единицей теоретического познания служит идея, а эмпирического исследования – факт [1; 4; 5].

При изучении мутационного процесса как фактора, изменяющего генофонд природной популяции, имеется возможность проиллюстрировать эмпирический путь познания. Старшеклассникам интересно узнать, что к выводу о насыщенности природных популяций рецессивными мутациями отечественный генетик С. С. Четвериков пришел эмпирическим путем, изучая природные популяции дрозофил на Звенигородской биостанции под Москвой [14]. Он доказал, что в результате близкородственного скрещивания (инбридинга), проводимого в течение нескольких поколений, в фенотипически однородной популяции дрозофил наблюдается проявление множества мутаций по окраске тела, глаз, длине и формы крыльев и др. Опыты С. С. Четверикова убедительно свидетельствовали, что мутации поставляют исходный материал для эволюции. Тем самым он снял одно из существенных возражений оппонентов Ч. Дарвина – тезис о нехватке материала для естественного отбора [8].

Другие положения эволюционной теории, касающиеся факторов и результатов эволюции, также основываются на законе Харди – Вайнберга. При этом следует подчеркнуть, что факторами эволюции называют те процессы, которые приводят к изменению генофонда популяции и вида. Рассматривая особенности воздействия каждого фактора, необходимо актуализировать знания об условиях идеальной популяции. Рассуждения должны идти от обратного: «На генофонд идеальной популяции мутационный процесс, генный поток, популяционные волны

не оказывают давление, но генофонд реальной популяции под действием этих факторов постоянно преобразуется. Каким образом»? В ходе объяснения выясняется значение факторов – поставщиков эволюционного материала:

- мутационный процесс – единственный источник новых наследственных изменений. Несмотря на то что частота отдельных мутаций очень низкая, общее число мутантных аллелей у каждой особи от нескольких единиц до нескольких десятков. В силу этого мутационный процесс ощутимо влияет на генофонд популяции и вида в целом;
- давление мутационного процесса усиливается комбинативной изменчивостью и генным потоком (результатом миграции особей разных популяций);
- популяционные волны приводят к возрастанию численности и к ее резкому сокращению. В результате сначала увеличивается вероятность появления новых мутаций, а затем часть мутаций случайно исчезает вместе с гибелью несущих их особей.

Далее важно выяснить, как себя ведет генофонд малочисленной популяции, если, согласно закону Харди – Вайнберга, равновесие частот аллелей поддерживается в бесконечно большой по численности популяции. Учитель обращается к результатам лабораторного эксперимента. В пробирки с кормом были посажены дрозофилы, два самца и две самки с генотипом Аа (частота доминантного и рецессивного аллелей составляла 50%). Через несколько поколений в силу действия случайных факторов оказалось, что в некоторых популяциях все особи стали рецессивными гомозиготами (аа), в других – рецессивный аллель был полностью утрачен (АА), в третьих, мушки были гетерозиготны (Аа). Случайное изменение генофонда малочисленных популяций обозначают термином «дрейф генов». Этот фактор эволюции может привести к возникновению жизнеспособной популяции с уникальным генофондом, хотя естественный отбор не оказывал существенного влияния. В связи с этим можно заметить, что в середине ушедшего века вопрос о сочетании дрейфа генов и естественного отбора в эволюции был предметом острых дискуссий. В настоящее время общепризнано, что в популяциях с большой численностью, где осуществляется случайное свободное скрещивание, ведущую роль играет естественный отбор, а в малочисленных популяциях – дрейф генов [7; 8].

Говоря о естественном отборе, следует подчеркнуть его роль как элементарного фактора, направляющего процесс микроэволюции. Отметить, что в пределах популяции отбираются не отдельные признаки организма, а особи, обладающие определенным фенотипом. Фенотип – результат взаимодействия генотипа с условиями среды. Отбор по фенотипам в ряду поколений в конечном счете сводится к отбору генотипов с нормой реакции, соответствующей условиям данной среды. Поэтому отбор, с точки зрения генетики, понимается как процесс избирательного воспроизведения генотипов.

В классах с углубленным изучением биологии важно обратиться к количественной характеристике отбора. Для этого используется понятие «адаптивная (приспособительная) ценность генотипа» – способность особей данного генотипа к выживанию и размножению (обозначается символом w и колеблется в пределах от 0 до 1). Если $w = 1$, потенциальные возможности к размножению реализуются полностью; при $w = 0$ передача наследственной информации следующему поколению не происходит из-за гибели всех особей [11]. Обратной величиной адаптивной ценности служит коэффициент отбора (S), отражающий скорость сокращения того или иного генотипа ($S = 1 - w$). Чем выше коэффициент отбора,

тем ниже адаптивные возможности генотипов. Особенно эффективно отбор идет против генотипов, несущих доминантные мутации, несовместимые с жизнью, так как они проявляются у гомо- и гетерозигот. При $S = 1$ популяция за одно поколение избавляется от доминантных мутаций. Например, у человека доминантный аллель вызывает тяжелое наследственное заболевание – ахондроплазию, при котором нарушается рост длинных костей и происходит деформация черепа. Гомозиготы нежизнеспособны ($S = 1$). У гетерозигот число детей в пять раз меньше, чем у здоровых людей, то есть $w = 0,2$; $S = 0,8$.

Вычисления с использованием математической формулы закона Харди – Вайнберга позволяет учащимся понять, что отбор рецессивных аллелей затруднен, так как большая их часть находится в гетерозиготном состоянии. Установлено, что если частота «вредного» рецессивного аллеля составляет 0,01, то через 100 поколений она снизится только вдвое (до 0,005), а через 9900 поколений составит 0,0001. Особенно трудно избавиться от рецессивных аллелей в популяции с высокой численностью, так как встреча двух гетерозигот и перевод мутаций в гомозиготное состояние – маловероятное событие (актуализируется информация об условиях идеальной популяции) [13]. После изучения факторов эволюции с позиций закона Харди – Вайнберга важно закрепить знания в процессе решения познавательных задач, предполагающих вычисление частот аллелей и генотипов AA, Aa (в %), если известна частота встречаемости рецессивных гомозигот, например, она составляет 1%.

Дано:

Решение:

$$q^2 = 0,01$$

$$q = 0,1$$

$$p^2 = ?$$

$$p = 1 - q = 0,9$$

$$2pq = ?$$

$$2pq = 0,18$$

$$p^2 = 0,81$$

Ответ: в популяции 81% особей с генотипом AA, 18% – с генотипом Aa и 1% – с генотипом aa.

От факторов микроэволюции логично перейти к ее результатам – процессу видообразования. Этот материал дедуктивно независим от популяционной генетики. Пониманию способов видообразования способствует его оформление в виде последовательных этапов.

Этапы географического видообразования: возникновение географической изоляции, расчленение единого ареала на две и более части. Прекращение генного потока между популяциями. → Изменение генофонда каждой популяции в результате мутационного процесса, комбинативной изменчивости, волн численности. → Изменение направления естественного отбора применительно к условиям среды каждой популяции. → Возникновение репродуктивной изоляции (различий в размерах, поведении, плодовитости, числе хромосом. → Возникновение нового вида.

В отличие от географического, экологическое видообразование обусловлено увеличением численности популяции и обострением внутривидовой конкуренции, что приводит к расхождению популяций по разным экологическим нишам, прекращению генного потока и возникновению экологической изоляции.

Способы видообразования важно проиллюстрировать интересными примерами. Наш опыт показывает, что географический способ видообразования вызывает ответную эмоциональную реакцию, если рассматривается на примере естественных лабораторий эволюции – островов, где естественный отбор меняет

свое направление и действует в сторону гигантизма (у птиц и пресмыкающихся), карликовости (у млекопитающих), бескрылости (у насекомых и птиц), утраты генетически запрограммированного поведения, связанного с защитным страхом, расхождения популяций и видов по способу питания, что ослабляет внутривидовую конкуренцию [10–12].

Следует подчеркнуть, что СТЭ, в отличие от классического дарвинизма, рассматривает видообразование не только как постепенный и длительный процесс, но и как процесс скачкообразный, внезапный, идущий на основе крупных мутаций, полиплоидии, межвидовой гибридизации.

Завершить раскрытие логической структуры СТЭ важно рассмотрением ее главного следствия – закона необратимости эволюционного процесса, связывающего эволюционную теорию с концепциями экологии. К сожалению, этот закон отсутствует в действующих учебниках. Тем не менее обучающиеся, зная о генетической уникальности каждого организма, могут самостоятельно обосновать невозможность повторения видов, так как каждый вид состоит из отличающихся друг от друга популяций, особи которых обладают разными генотипами. Генофонд популяции постоянно обновляется в результате мутаций и их комбинаций, генного потока, других факторов и потому никогда не копирует генофонд предшествующих поколений. Генетически обновленная популяция вступает в другие отношения с биоценозом, и результаты естественного отбора будут иными. В результате делается вывод: утраченный вид организмов не может возникнуть вновь, если даже условия среды будут прежними. Вид – уникальный результат микроэволюции, обладающий неповторимым генофондом. Исчезновение вида – невосполнимая потеря.

Таким образом, положения СТЭ о популяции как элементарной эволюционной структуре, факторах, поставляющих эволюционный материал, естественном отборе как направляющем факторе микроэволюции выводились дедуктивно, а положения о процессах видообразования – индуктивно. В результате обучающиеся подводились к пониманию и формулированию положений о микроэволюции в течение изучения всей темы. Целостное определение СТЭ было как бы целью познания.

Интегрированный подход к изучению синтетической теории эволюции, с одной стороны, позволил средствами математики смоделировать процесс микроэволюции и выявить наличие закономерной связи – скрытого резерва мутационной изменчивости, с другой стороны, подтвердить достоверность результатов исследования природных популяций, полученных С. С. Четвериковым эмпирическим путем. Интегрированные уроки были апробированы в образовательном процессе МАОУ «Гимназия им. Н. В. Пушкина», Троицк, Москва; ГОУ СОШ № 33 им. К. Маркса, МОУ СОШ № 83 г. Ярославля и позволили прийти к заключению, что интеграция знаний позволяет понять механизмы эволюционного процесса, свободно ориентироваться в пространстве эволюционных проблем на основе применения математических методов, основательно подготовиться к выполнению заданий 27-й линии ЕГЭ, а также развивает логику мышления, побуждает к объяснению биологических явлений и познанию закономерностей живой природы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вахтомин Н. К. Генезис научного знания. М.: Наука, 1973. 285 с.
2. Баженов Л. Б. Строение и функции естественнонаучной теории. М.: Наука, 1978. 232 с.

3. Рузавин Г. И. Научная теория, логико-методологический анализ. М.: Мысль, 1978. 244 с.
4. Швырев В. С. Знание и мироотношение // Философия науки. 1995. Т. 1: Проблемы рациональности. С. 163–184.
5. Степин В. С. Становление научной теории. Минск: БГУ, 1976. 320 с.
6. Комиссаров Б. Д. Методологические проблемы школьного биологического образования. М.: Просвещение, 1991. 160 с.
7. Северцов А. С. Генетика и эволюция // Биология в школе. 1998. № 5. С. 5–15.
8. Борзенков В. Г., Северцов А. С. Теоретическая биология: размышления о предмете. М.: Знание, 1980. 63 с.
9. Рьюз М. Философия биологии. М.: Прогресс, 1977. 317 с.
10. Сухорукова Л. Н. Культурно-исторические основания содержания общего биологического образования: моногр. Ярославль: РИО, 2020. 175 с.
11. Воронцов Н. Н., Сухорукова Л. Н. Эволюция органического мира. М.: Наука, 1996. 256 с.
12. Сухорукова Л. Н., Кучменко В. С., Черняковская Т. Ф. Биология 11 класс: учебник для общеобразоват. учреждений, профил. уровень. М.: Просвещение, 2010. 207 с.
13. Айала Ф. Введение в популяционную и эволюционную генетику. М.: Мир, 1994. 230 с.
14. Четвериков С. С. О некоторых моментах эволюционного процесса с точки зрения современной генетики // Журнал экспериментальной биологии. 1926. Сер. А. Т. 2, вып. 1. С. 3–54.

REFERENCES

1. Vakhtomin N. K. *Genezis nauchnogo znaniya*. Moscow: Nauka, 1973. 285 p.
 2. Bazhenov L. B. *Stroenie i funktsii estestvennonauchnoy teorii*. Moscow: Nauka, 1978. 232 p.
 3. Ruzavin G. I. *Nauchnaya teoriya, logiko-metodologicheskii analiz*. Moscow: Mysl, 1978. 244 p.
 4. Shvyrev V. S. Znanie i mirootnoshenie. *Filosofiya nauki*. 1995. Vol. 5: Problemy ratsionalnosti. Pp. 163–184.
 5. Stepin V. S. *Stanovlenie nauchnoy teorii*. Minsk: BGU, 1976. 320 p.
 6. Komissarov B. D. *Metodologicheskie problemy shkolnogo biologicheskogo obrazovaniya*. Moscow: Prosveshchenie, 1991. 160 p.
 7. Severtsov A. S. Genetika i evolyutsiya. *Biologiya v shkole*. 1998, No. 5, pp. 5–15.
 8. Borzenkov V. G., Severtsov A. S. *Teoreticheskaya biologiya: razmyshleniya o predmete*. Moscow: Znanie, 1980. 63 p.
 9. Ruse M. *Filosofiya biologii*. Moscow: Progress, 1977. 317 p. (In Russian)
 10. Sukhorukova L. N. *Kulturno-istoricheskie osnovaniya soderzhaniya obshchego biologicheskogo obrazovaniya: monogr.* Yaroslavl: RIO, 2020. 175 p.
 11. Vorontsov N. N., Sukhorukova L. N. *Evolutsiya organicheskogo mira*. Moscow: Nauka, 1996. 256 p.
 12. Sukhorukova L. N., Kuchmenko V. S., Chernyakovskaya T. F. *Biologiya 11 klass: ucheb. dlya obshcheobrazovat. uchrezhdeniy, profil. uroven*. Moscow: Prosveshchenie, 2010. 207 p.
 13. Ayala F. *Vvedenie v populyatsionnyu i evolyutsionnyu genetiku*. Moscow: Mir, 1994. 230 p. (In Russian)
 14. Chetverikov S. S. O nekotorykh momentakh evolyutsionnogo protsessa s tochki zreniya sovremennoy genetiki. *Zhurnal eksperimental'noy biologii*. 1926, Ser. A, Vol. 2, Iss. 1, pp. 3–54.
-

Сухорукова Людмила Николаевна, доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры биологии и методики обучения биологии, Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского

e-mail: suchorukovaln@yandex.ru

Sukhorukova Lyudmila N., ScD in Education, Full Professor, Professor, Biology and Methods of Teaching Biology Department, Yaroslavl State Pedagogical University named after K.D. Ushinsky

e-mail: suchorukovaln@yandex.ru

Блинков Евгений Александрович, кандидат биологических наук, старший методист отдела методологии и перспективной дидактики института содержания, методов и технологий обучения, Московский городской педагогический университет

e-mail: blinkovea@mgpu.ru

Blinkov Evgeny A., PhD in Biology, Senior Methodologist, Methodology and Advanced Didactics Department, Institute of Content, Methods and Technologies of Teaching, Moscow City University

e-mail: blinkovea@mgpu.ru

Дмитриева Елена Александровна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры биологии и методики обучения биологии, Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского

e-mail: aibolit-69@mail.ru

Dmitrieva Elena A., PhD in Education, Assistant Professor, Biology and Methods of Teaching Biology Department, Yaroslavl State Pedagogical University named after K. D. Ushinsky

e-mail: aibolit-69@mail.ru

Статья поступила в редакцию 02.03.2025

The article was received on 02.03.2025