

РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ «ГЕН» В УЧЕБНОМ ПРЕДМЕТЕ «БИОЛОГИЯ» ДЛЯ 10 КЛАССА В СВЕТЕ ПРИНЦИПА СООТВЕТСТВИЯ НИЛЬСА БОРА

Т.Ю. Крылова, Л.Н. Сухорукова, М.А. Гончаров

Аннотация. Актуальность статьи обусловлена необходимостью обновления учебного содержания по основам генетики в учебном предмете «Биология» для 10 класса. Известно, что в большинстве действующих учебников генетический раздел строится без опоры на методологию теоретического познания, принцип исторической преемственности теорий генетики, что занижает познавательные возможности школьников. Ведущий компонент теоретического знания, обеспечивающий его развитие, — понятие. Центральное понятие генетики — «ген» — последовательно конкретизируется в системе теорий: от учения Г. Менделя — к хромосомной теории наследственности и от неё — к молекулярной теории гена. Историческая преемственность теорий генетики служит идеальной моделью принципа соответствия Нильса Бора, согласно которому новая теория (как более полная) не перечёркивает прежнюю, а включает в себя в качестве самостоятельного фрагмента. Построение учебного материала в свете принципа соответствия даёт возможность «выйти за предмет», познакомиться с универсальными схемами развития научного познания. При этом понятие «ген» становится деятельностной единицей содержания. Ученик «переоткрывает» в мышлении процесс возникновения понятия и овладевает способами мыслительной деятельности.

Ключевые слова: теоретический способ научного познания, принцип соответствия, идея, теория, закон и его границы, теории генетики, понятие «ген» как теоретическое.

274

Для цитирования: Крылова Т.Ю., Сухорукова Л.Н., Гончаров М.А. Развитие понятия «ген» в учебном предмете «Биология» для 10 класса в свете принципа соответствия Нильса Бора // Преподаватель XXI век. 2024. № 1. Часть 1. С. 274–282. DOI: 10.31862/2073-9613-2024-1-274-282

© Крылова Т.Ю., Сухорукова Л.Н., Гончаров М.А., 2024



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

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF “GENE”
IN THE ACADEMIC SUBJECT “BIOLOGY” FOR GRADE 10
IN THE LIGHT OF NIELS BOHR’S CORRESPONDENCE PRINCIPLE

T.Yu. Krylova, L.N. Sukhorukova, M.A. Goncharov

Abstract. *The relevance of the article is determined by the need to update the educational content on the basics of genetics in the subject “Biology” for the 10th grade. It is known that in most current textbooks the genetic section is built without reliance on the methodology of theoretical cognition, the principle of historical continuity of theories of genetics, which underestimates the cognitive capabilities of schoolchildren. The leading component of theoretical knowledge that ensures its development is a concept. Thus, genes are consistently concretized in the system of theories: starting from the teachings of G. Mendel — to the chromosomal theory of heredity and from it — to the molecular theory of the gene. The historical continuity of genetic theories serves as an ideal model of Niels Bohr’s correspondence principle, according to which a new theory (as a more complete one) does not override the previous one, but includes it as an independent fragment. The construction of educational material in the light of the correspondence principle gives an opportunity to “go beyond the subject”, to get acquainted with universal schemes of development of scientific cognition. In this case, the concept of “gene” becomes an activity unit of the content. The student “rediscovers” the process of concept emergence in thinking and masters the ways of mental activity.*

Keywords: *theoretical method of scientific cognition, the principle of correspondence, idea, theory, law and its boundaries, theories of genetics, the concept of “gene” as a theoretical one.*

Cite as: Krylova T.Y., Sukhorukova L.N., Goncharov M.A. Development of the Concept of “Gene” in the Academic Subject “Biology” for Grade 10 in the Light of Niels Bohr’s Correspondence Principle. *Prepodavatel XXI vek. Russian Journal of Education*, 2024, No. 1, part 1, pp. 274–282. DOI: 10.31862/2073-9613-2024-1-274-282

275

Генетика — перспективная и быстро развивающаяся отрасль современной биологии. Её достижения повлияли не только на естественнонаучное, но и философское понимание явлений жизни. Неоценима роль генетики для практики селекции и медицины, её методы используются в криминалистике, палеонтологии, истории и др.

Учебная информация о закономерностях наследственности и изменчивости организмов представлена в учебниках биологии с конца 60-х гг. прошлого столетия. Старшеклассники изучают основы генетики (учение Г. Менделя) и цитогенетики. При этом законы Менделя, как правило, представлены в текстах как эмпирические выводы, а не положения хромосомной теории наследственности. Эта теория, за редким исключением, не рассматривается как выдающееся обобщение своего времени, её положения чаще всего не формулируются. Отдельные фрагменты молекулярной теории гена (информация об этапах реализации наследственной информации) даются до изучения генетики, в начале курса, в цитологическом разделе. В результате понятие «ген» не рассматривается авторами большинства учебников биологии в качестве «объективной клетки исследуемого целого», его развитие нарушается [1, с. 58]. Описательное

изложение раздела без опоры на принцип исторической преемственности и обращения к теории как системе знаний существенно занижает познавательные возможности обучающихся 10 классов.

В ряде методологических работ история развития генетики рассматривается как теоретический путь научного познания, движение от абстрактного знания (идеи) к конкретному — теории. Авторы считают, что «эвристикой научного поиска послужила идея дискретной природы наследственности Г. Менделя, именно под ее знаком шло развитие современной генетики» [2, с. 32]. Законы, установленные Г. Менделем, рассматриваются как положения классической теории наследственности («формальной генетики»). Кроме законов в теоретическую систему Г. Менделя вошла гипотеза чистоты гамет, «...в которой идея дискретной природы наследственности была доведена до логического завершения» [там же]. С методологических позиций учение Г. Менделя характеризуется замкнутостью (строго определяет область «своих» фактов, объясняет только явления наследования аллельных генов), «минимизацией» (включает небольшое количество исходных понятий), обладает объяснительной и предсказательной функциями, что характеризует его как развитую теорию [там же, с. 34]. Согласно И.Т. Фролову, дальнейшее прогрессивное развитие генетики было связано с открытием фактов, не охватываемых теорией Г. Менделя, т. е. происходило по пути определения противоречий между теорией и фактами. Это противоречие разрешилось выдвижением хромосомной теории наследственности в первой четверти XX в., постулаты которой сформулированы Т. Морганом. С позиций этой теории стало ясно, что законы Г. Менделя имеют свои границы, распространяются только на случаи наследования генов, локализованных в гомологичных хромосомах. Поэтому хромосомная теория наследственности включила в себя учение Г. Менделя в качестве самостоятельного фрагмента и объяснила не только наследование аллельных, но и неаллельных генов. Таким образом, очевидно, что в процессе развития научного познания новая теория не всегда опровергает прежнюю, а как более широкая и полная вбирает её в себя. Преемственность теорий обусловлена идеей (в данном случае идеей дискретной наследственности), которая в неизменном виде переходит из классической теории в современную. Эта универсальная схема научного познания известна в методологии естественных наук как «принцип соответствия Нильса Бора».

На смену хромосомной теории наследственности в середине XX в. пришла молекулярная теория гена, также основанная на идее дискретной наследственности. В процессе перехода от одной теории к другой последовательно уточнялось, конкретизировалось центральное понятие генетики — «ген». В учении Г. Менделя ген — абстрактная единица — «фактор наследственности», обуславливающий развитие того или иного признака. В хромосомной теории абстрактное представление о гене приобретает конкретный смысл (ген — материальная частица, локус хромосомы). Молекулярная теория гена исходит из понимания его структуры как участка молекулы ДНК и потому выступает как «развитое понятие, результат познания» [3].

Таким образом, исторически развитие понятие «ген» происходило в системе теорий по пути движения от абстрактного знания к конкретному. Обучающимся важно предоставить возможность «переоткрыть открытие», обратиться к периоду развития науки до Г. Менделя, где исследователи основывались на идее слитной наследственности. Согласно этой идее, признаки передаются следующим поколениям слитно (вместе) и при скрещивании способны разбавляться и исчезать. Это позволяет

старшеклассникам оценить значение верно выбранной Г. Менделем исходной идеи, предполагающей, что наследуются не признаки, а «факторы наследственности» — материальные частицы, находящиеся в половых клетках и определяющие развитие у организмов отдельных признаков. После этого становится понятным, почему Г. Мендель выбрал в качестве объекта исследования горох огородный (как самоопыляющееся растение он обеспечивал чистоту эксперимента), применил метод гибридологического анализа и способы обработки результатов с помощью математической статистики. В итоге законы, установленные Г. Менделем, рассматриваются как результат теоретического, а не эмпирического познания. Оценивая значение учения Г. Менделя, обучающиеся поражаются красоте его экспериментов и логичности гипотезы «чистоты гамет», позволившей не только объяснять доминантные и рецессивные механизмы наследования, но и предсказывать их результаты. Важно заметить, что открытие Г. Менделя опередило свое время. Значение его законов не было по достоинству оценено современниками. Например, ботаник К. Негели предложил перепроверить законы наследования на других объектах, в частности на ястребинках (семейство сложноцветных). Однако полученные результаты при скрещивании ястребинок не подтверждали законы Г. Менделя. Позднее было установлено, что у этих растений нарушен половой процесс, и противоречие было снято.

Предпосылки развития генетики сложились лишь к концу XIX в. в связи с «переоткрытием» закономерностей, установленных Г. Менделем. Начало XX в. ознаменовалось бурным развитием генетических исследований. Английский ученый У. Бэтсон предложил термин «генетика» (1906), а датский генетик В. Иогансен ввел термины «ген», «генотип», «фенотип». В России чуть позже была организована первая кафедра генетики под рук. Ю.А. Филипченко в Санкт-Петербургском университете (1919), чья история связана с именами выдающихся ученых Н.И. Вавилова, Г.Д. Карпеченко, Г.А. Левитского.

В 1920–30-е гг. была разработана хромосомная теория наследственности, охватывающая более широкую область фактов по сравнению с формальной генетикой. Важно заметить, что в действующих учебниках биологии для 10 класса после законов Г. Менделя общепринято давать их цитологическое обоснование без упоминания положений хромосомной теории наследственности. Наш опыт показал, что для осознанного восприятия обучающимися учебной информации важно познакомить их с историей развития этой теории и её основными положениями. Следует сообщить, что только к концу XIX в. был понят смысл процессов митоза, мейоза и оплодотворения, что способствовало разработке хромосомной теории наследственности. Непосредственные факты, послужившие основанием для её становления, были получены Т. Бовери, доказавшем наследственную роль хромосом при изучении онтогенеза морского ежа. Другой исследователь, В. Сеттон, обратил внимание на сходство поведения хромосом в ходе мейоза и «наследственных факторов» Г. Менделя (в гаметах они представлены в гаплоидном наборе, а в зиготе — диплоидном). На основании этого сделан вывод о расположении генов в хромосомах. Созданию хромосомной теории наследственности способствовали исследования и отечественных ученых. Так, основные типы митотических хромосом растений описал С.Г. Навашин. Понятие кариотип применительно к постоянству хромосом каждого вида ввел Г.А. Левитский. К концу 20-х гг. ушедшего столетия научной школе американского генетика Т. Моргана удалось установить связь конкретных генов

с хромосомами, выяснить цитологические механизмы их наследования и сформулировать положения хромосомной теории наследственности, которые можно представить в следующей адаптированной к возрасту обучающихся форме:

- «наследственные особенности организма определяются генами, расположенными в хромосоме линейно, каждый ген занимает определённое место (локус) относительно других генов и представлен в клетке дважды, т. к. каждая хромосома имеет гомолога;
- в результате мейоза гомологичные хромосомы попадают в разные гаметы, а значит и парные (аллельные) гены оказываются в разных половых клетках (это положение объясняет гипотезу «чистоты гамет» Г. Менделя, его первый и второй законы);
- разные пары аллельных генов находятся в разных парах гомологичных хромосом, поэтому разные пары альтернативных признаков наследуются независимо (объяснение третьего закона Менделя);
- гены, расположенные в одной хромосоме, оказываются в одной гамете и наследуются вместе, «сцеплено» (закон Моргана); число групп сцепления равно гаплоидному числу хромосом» [4, с. 76].

При анализе положений обучающиеся убеждаются, что хромосомная теория наследственности не опровергает гипотезу «чистоты гамет» и законы Г. Менделя, а как бы включает его теоретическую систему в себя, обосновывает с цитологических позиций. При этом становится ясно, что учение Г. Менделя объясняет только случаи наследования аллельных генов, расположенных в идентичных участках гомологичных хромосом, и на другие явления наследования признаков у организмов не распространяется. В силу того, что законы Г. Менделя охватывают узкую область фактов, они никогда не будут опровергнуты! Во все времена наследование аллельных генов будет объясняться с позиций учения Г. Менделя. Из положений хромосомной теории наследственности также следует, что она позволяет прогнозировать наследование не только аллельных, но и неаллельных генов, расположенных в одной из гомологичных хромосом (закон сцепленного наследования Т. Моргана).

После изучения хромосомной теории наследственности важно подчеркнуть, что в учении Г. Менделя «фактор наследственности» (ген) — абстрактное понятие, результат мыслительной деятельности ученого. А в хромосомной теории наследственности ген — конкретная, материальная единица наследственности.

С целью повышения эвристических возможностей учебного содержания и приобщения обучающихся к ценностям и нормам науки, можно познакомить их с открытием Барбары Мак-Клинток, которая не побоялась возразить самому Т. Моргану и на основе экспериментов выдвинула новую смелую идею о мобильных генетических элементах, противоречащую основному положению хромосомной теории о постоянстве положения генов в хромосоме. Спустя четверть века существование мобильных генетических элементов было доказано. Последующие исследования российских и американских генетиков показали, что перемещения генов — очень редкое явление, не противоречащее хромосомной теории Г. Моргана, но дополняющее представление о причинах изменения генов.

Дальнейшую конкретизацию понятие «ген» получило в молекулярной теории гена. Внимание обучающихся следует обратить, что в основе этой теории лежит всё та же идея дискретной наследственности, выдвинутая Г. Менделем. Именно эта идея связывает все теории общей генетики. Однако по сравнению с хромосомной теорией

наследственности молекулярная теория гена более глубоко и всесторонне объясняет явления наследования.

Наш опыт показал, что развитию познавательного интереса школьников способствует обращение к основным историческим моментам становления молекулярной генетики. Перед обучающимися важно сформулировать проблему: «Из школьного курса биологии каждый знает о молекуле наследственности — ДНК, в которой форма двойной спирали органично сочетается с функцией. Неслучайно архитекторы строят на основе модели ДНК небоскрёбы, лестницы, пешеходные мосты. Однако до 1950-х гг. прошлого века не было понятно, как дочерняя клетка получает от родительской клетки генетическую информацию? Какова молекулярная природа гена? В ходе проблемного изложения обучающиеся знакомилась с идеями, методами исследования, фактами, которые способствовали выяснению молекулярной структуры ДНК. В частности, выяснялось, что в конце 20-х гг. ушедшего века Н.К. Кольцов впервые высказал идею, что генетическая информация зашифрована на молекулярном уровне. Он предположил, что хромосомы представляют собой гигантские макромолекулы, способные к самовоспроизведению. В то время было уже известно, что хромосомы состоят из ДНК и белков, но Н.К. Кольцов считал, что веществом наследственности служат хромосомные белки [5].

Последователь Н.К. Кольцова Н.В. Тимофеев-Ресовский на основе опытов по облучению дрозофил пришёл к заключению, что ген представляет собой молекулу, в которой могут происходить прерывистые изменения. Другой ученик Н.К. Кольцова (С.М. Гершензон) обнаружил, что при добавлении ДНК в корм дрозофил возникают изменения, передающиеся по наследству. Отечественная наука стояла на грани выдающихся открытий. Но в конце 1930-х гг. началась кампания по борьбе с генетикой как буржуазной наукой, и пальма первенства в раскрытии молекулярной природы гена нашей страной была утрачена. Многие генетики лишились возможности продолжать исследования.

После завершения Великой Отечественной войны в Дублине вышла книга «Что такое жизнь с точки зрения физика» (автор Э. Шредингер, один из создателей квантовой механики). Значительная часть этого труда посвящалась изложению результатов исследования Н.В. Тимофеева-Ресовского и других генетиков. Поскольку имя Э. Шредингера было авторитетным, то книга стимулировала интерес физиков и химиков к проблеме молекулярной природы наследственности. Поэтому неслучайно структура молекулы ДНК была открыта физиком Ф. Криком и биохимиком Дж. Уотсоном в физической лаборатории в Кембридже, в той же самой лаборатории, где знаменитый Э. Резерфорд открыл строение атомного ядра. Этому способствовала трудоёмкая работа, проведённая биохимиками под руководством М. Уилкинса, по выяснению строения нуклеотидов ДНК. Важную информацию предоставили исследования австрийского биохимика Э. Чаргаффа. В них он установил, что в состав нуклеотидов ДНК входят четыре азотистых основания А, Т, С и G, которые находятся в определённых пропорциях ($A = T$; $C = G$). Английская исследовательница Розалин Франклин, используя метод рентгеновской кристаллографии, получила рентгенограммы молекулы ДНК, что позволило Дж. Уотсону и Ф. Крику предположить, что молекула ДНК имеет спиральную двуцепочечную структуру. Сопоставив данные других исследователей, они собрали модель ДНК по типу детского конструктора из отдельных деталей. В результате трудоёмкой работы возникла модель молекулы, состоящая из двух цепочек, закрученных одна вокруг другой и общей оси. Стало понятно, что в самой структуре ДНК заложена возможность

её точного самовоспроизведения. Результаты исследований были опубликованы в статье, которая была менее страницы и содержала всего 900 слов. В 1962 г. Дж. Уотсон, Ф. Крик и М. Уилкинс были удостоены Нобелевской премии по медицине. К сожалению, Р. Франклин до этого момента не дожила, а, как известно, Нобелевские премии не присуждаются посмертно.

В заключение проблемного изложения историко-научного материала формулировался вывод, что открытие молекулярной структуры гена способствовало бурному развитию генетики, т. к. ген стал вполне реальным молекулярным объектом, его свойства теперь можно было изучать с помощью физико-химических методов биологии.

После ознакомления с историей молекулярной генетики следует перейти к рассмотрению этапов реализации генетической информации в процессе биосинтеза белков. Общепринято излагать этот учебный материал вне генетического раздела при рассмотрении обмена веществ в клетке (именно так поступает большинство авторов учебников). Однако говорить о сущности генетического кода, этапах реализации генетической информации важно в генетическом разделе, т. к. это фрагмент теории гена. В противном случае логика развития понятия о гене нарушается.

Обоснованию положений молекулярной теории гена способствовало также введение понятия «геном» как совокупности ДНК организмов одного вида в гаплоидном наборе хромосом; рассмотрение отличия геномов прокариот и эукариот. Школьникам интересно узнать, что геном человека составляет 3 млрд пар нуклеотидов, но лишь 1% приходится на кодирующие участки, 24% — на некодирующие участки и 75% — на межгенные промежутки (молчащую ДНК). Следовательно, только 1% ДНК человека кодирует информацию о структуре белков. Заметим, что в эпоху расшифровки генома человека понятие «геном» (одно из ведущих в молекулярной теории гена) вводится лишь некоторыми авторами учебников биологии для 10 класса базового уровня и углубленного уровня.

Основные положения молекулярной теории гена (в силу её сложности) целесообразно дать индуктивно, сформулировать в качестве обобщения в конце изучения закономерностей наследственности. Сущность теории применительно к базовому уровню можно свести к следующим положениям:

- «ген — участок молекулы ДНК (РНК), способный к репликации и кодированию одной полипептидной цепи; ген делим, состоит из нуклеотидов;
- гены ограничены специальными триплетами — терминаторами и «знаками управления» — промоторами и операторами;
- зашифрованная в генах наследственная информация реализуется на основе матричного принципа через процессы репликации, транскрипции и трансляции; поток генетической информации осуществляется в направлении: ДНК \leftrightarrow РНК \rightarrow белок;
- геном прокариот представлен в основном уникальными генами, которые имеют непрерывную структуру;
- в геноме эукариот преобладают некодирующие участки ДНК; гены составляют незначительную часть ДНК и имеют прерывистое строение; многие последовательно-сти ДНК представлены большим числом копий» [4, с. 95].

Более детально и глубоко положения молекулярной теории гена сформулированы в известной работе В.А. Ратнера «Хроника великого открытия: идеи и лица», которыми можно воспользоваться при обучении биологии на углубленном уровне, например, в медицинских и биолого-химических классах.

Рассмотренный подход к изучению общей генетики апробирован в школах разных типов: (ГОУ № 33 с углубленным изучением математики г. Ярославля; СОШ № 83, г. Ярославля; МАОУ «Гимназии им. Пушкина», Москва, Троицк). Результаты опытно-экспериментальной работы представлены в таблице. В качестве диагностики использовались уровни освоения учебной информации, отражающие овладение обучающимися учебными действиями при решении познавательных задач.

Таблица

Уровни освоения учебного содержания о закономерностях наследственности организмов

Контрольные и экспериментальные группы	Количество обучающихся	Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
Контрольная группа	115	48 (42%)	55 (46%)	12 (10%)
Экспериментальная группа	119	7 (6%)	85 (71%)	27 (23%)

Обучающиеся, ответы которых соотносятся с низким уровнем усвоения содержания учебного материала, ограничивались воспроизведением учебной информации, затруднялись применять знания при решении познавательных задач. Школьники, достигшие второго уровня, обращались к истории генетики, знали деятели науки и раскрывали значение научных открытий, успешно справлялись с решением типовых задач на применение законов Г. Менделя, генетики пола. Обучающиеся, чьи достижения соответствовали высшему уровню, решали более сложные генетические задачи (сцепленное наследование и взаимодействие генов), опираясь на понимание границ изучаемых законов генетики. Они объясняли смену теоретических построений противоречием между теорией и новыми фактами, оценивали значение научных идей, активно участвовали в диалоге, высказывали своё мнение, строили гипотезы.

Развитие теоретического понятия «ген» в учебном предмете «Биология» для 10 класса может быть достигнуто только через его конкретизацию в системе теорий генетики, объединённых идеей дискретной природы наследственности организмов. Проведенная опытно-экспериментальная работа свидетельствует о повышении образовательных результатов при организации учебного содержания в свете принципа соответствия Нильса Бора. Его реализация позволила не только решать обучающие, развивающие, но и воспитательные задачи: раскрыть вклад отечественных и зарубежных исследователей в становление и развитие генетики, обратить внимание на влияние объективных (противоречие между теорией и фактами) и субъективных (господствующего мировоззрения, волевых решений отдельных личностей) факторов на развитие научного познания. В результате старшие школьники понимали, что в науке нет высшей ценности, чем истина, а стремление к ней — моральная обязанность каждого учёного. Наука — это сообщество свободно мыслящих людей, для которых главный авторитет — разум и опыт.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. Комиссаров, Б.Д. Методологические проблемы школьного биологического образования. М.: Просвещение, 1991. 159 с.
2. Алешин, А.И. Методологические проблемы научного исследования в биологии. Горький: Волго-вятское изд-во, 1973. 183 с.
3. Фролов, И.Т. Философия и история генетики: поиски и дискуссии. М.: Наука, 1988. 414 с.
4. Сухорукова, Л.Н., Кучменко, В.С., Иванова, Т.В. Биология. 10 класс. Учебник для общеобразовательных организаций. Базовый уровень. М.: Просвещение, 2019. 127 с.
5. Гайсинович, А.Е. Зарождение и развитие генетики. М.: Наука, 1983. 422 с.

REFERENCES

1. Komissarov, B.D. *Metodologicheskie problemy shkolnogo biologicheskogo obrazovaniya* [Methodological Problems of School Biological Education]. Moscow, Prosveshchenie, 1991, 159 p. (in Russ.)
2. Aleshin, A.I. *Metodologicheskie problemy nauchnogo issledovaniya v biologii* [Methodological Problems of Scientific Research in Biology]. Gorky, Volgo-vyatskoe izdatelstvo, 1973, 183 p. (in Russ.)
3. Frolov, I.T. *Filosofiya i istoriya genetiki: poiski i diskussii* [Philosophy and History of Genetics: Searches and Discussions]. Moscow, Nauka, 1988, 414 p. (in Russ.)
4. Suhorukova, L.N., Kuchmenko, V.S., Ivanova, T.V. *Biologiya. 10 klass. Uchebnik dlya obshcheobrazovatelnyh organizacij. Bazovyy uroven* [Biology. 10th Grade. A Textbook for Educational Organizations. Basic Level]. Moscow, Prosveshchenie, 2019, 127 p. (in Russ.)
5. Gajsinovich, A.E. *Zarozhdenie i razvitie genetiki* [The Origin and Development of Genetics]. Moscow, Nauka, 1983, 422 p. (in Russ.)

Крылова Татьяна Юрьевна, учитель биологии, ГОУ № 33 им. К. Маркса, tat.krylova68@yandex.ru

Tatyana Y. Krylova, Biology Teacher, K. Marx State Educational Institution No. 33, tat.krylova68@yandex.ru

Сухорукова Людмила Николаевна, доктор педагогических наук, профессор, кафедра биологии и методики обучения биологии, Ярославский государственный педагогический университет им. К.Д. Ушинского, suchorukovaln@yandex.ru

Lyudmila N. Sukhorukova, ScD in Education, Professor, Biology and Methods of Teaching Biology Department, K.D. Ushinsky Yaroslavl State Pedagogical University, suchorukovaln@yandex.ru

Гончаров Михаил Анатольевич, доктор педагогических наук, профессор РАО, профессор, кафедра педагогики и психологии профессионального образования им. В.А. Слостёнина, Московский педагогический государственный университет, ma.goncharov@mpgu.su

Mikhail A. Goncharov, ScD in Education, Professor of the Russian Academy of Sciences, Professor, V.A. Slastenin Pedagogy and Psychology of Vocational Education Department, Moscow Pedagogical State University, ma.goncharov@mpgu.su

Статья поступила в редакцию 28.12.2023. Принята к публикации 26.01.2024

The paper was submitted 28.12.2023. Accepted for publication 26.01.2024