

Л.Н. Сухорукова, Е.А. Фаюстова

### Принцип генерализации — основа построения теоретического содержания

Под принципом генерализации в педагогической науке понимается концентрация учебного материала вокруг фундаментальных теорий. Его содержание раскрывается в работах В.В. Давыдова, Л.Я. Зориной, В.С. Разумовского, Б.Д. Комиссарова и др. В исследованиях В.В. Давыдова четко прослеживается мысль, что концентрация знаний может быть достигнута на основе выявления содержательных абстракций — исходных теоретических понятий и их развития в системе теорий, то есть на основе восхождения от абстрактного к конкретному. Идеи В. В. Давыдова согласуются с дидактическими положениями Л. Я. Зориной и др. о необходимости построения теоретического содержания на основе преемственности классических и современных теорий, учета их логической структуры.

Принцип генерализации отражает логику развития теоретического знания. Известно, что в процессе научного познания исходные теоретические понятия, введенные в классических теориях, постепенно развиваются до современных теорий. История развития генетики — яркий пример тому.

Первой теорией, с которой началось развитие генетики, была классическая теория наследственности Г. Менделя («менделизм», «формальная генетика»), она строилась на основе принципа дискретной природы наследственности. Понятие гена в ней было исходным, явилось предпосылкой и целью дальнейшего познания. В силу замкнутого характера формальная генетика охватила не все многообразие явлений наследственности, а лишь случаи наследования аллельных генов, поэтому дальнейшее развитие генетики происходило путем открытия и объяснения новых факторов, не охватываемых теорией Менделя. Это привело к созданию хромосомной теории наследственности. Она существенно обогатила понятие о гене, подведя под него цитологическую основу. Пришедшая ей на смену теория гена позволила выяснить молекулярную природу наследственности, что еще более расширило область охватываемых ею фактов и углубило понятие о гене.

Обращение к исторической преемственности теорий генетики и их логической структуре позволяет конструировать содержание раздела в свете развития понятия о гене.

Принцип генерализации знаний нашел практическое воплощение главным образом в методических пособиях и учебниках физики. Теоретическое содержание школьного заключительного курса биологии продолжает строиться авторами программ и учебников без его учета. В результате законы Г. Менделя рассматриваются как выводы из опытов, а не как положения стройной теоретической системы, хромосомная теория только называется, но не раскрывается содержательно, молекулярная теория гена изучается фрагментарно, вне генетического раздела (парадокс!) и не дает представления о гене на уровне современной науки. Мутационная теория не организует содержание материала о наследственной изменчивости. Не формулируются положения генетических теорий, не всегда выявляются факты, послужившие основанием для их разработки, недостаточно полно раскрывается практическое значение теорий, их вклад в современную научную картину мира. Отсутствие преемственности в изложении генетических теорий нарушает логику развития понятия о гене и отрицательно сказывается на формировании системности знаний старшеклассников. Основанные на запоминании огромного количества фактов и отдельных закономерностей, знания перегружают память и быстро забываются.

Итак, согласно принципу генерализации в основу отбора и структурирования учебного материала должны быть положены следующие инвариантные положения:

— Содержание должно отражать историческую и логическую преемственность теорий:

генетика —————> хромосомная теория наследственности —————> молекулярная теория гена —————> мутационная теория.

Только такая последовательность изучения материала обеспечит развитие теоретического понятия о гене на основе восхождения от абстрактного к конкретному.

— Каждая теория должна быть рассмотрена как система взаимосвязанных фактов, принципов, понятий, законов (положений).

— Логическое изложение теорий должно дополняться рассмотрением исторического пути их становления и развития.

— На основе фундаментальных теорий следует изучать наиболее важные направления прикладных областей.

Конкретизируем выдвинутые положения.

Итак, в соответствии с принципом генерализации законы Г. Менделя следует изучать не как выводы, следующие из экспериментов, а как положения целостной теории. С этой целью важно обратиться к доменделевской картине природы, в которую вошло представление о слитной наследственности. Считалось, что по наследству передаются признаки, которые смешиваются, разбавляются, исчезают при скрещивании. Следует заметить, что, руководствуясь этой неверной идеей, предшественники Г. Менделя (И.Г. Кельрейтер, Т.Э. Найт, О. Сажре, Ш. Нодэн и др.) не смогли осмыслить и объяснить результаты опытов по скрещиванию, хотя и описали многие явления, выявленные позднее Г. Менделем в его законах.

Важно акцентировать внимание учащихся на том, что в отличие от других исследователей Г. Мендель исходил не из идеи наследования признаков, а из идеи наследования дискретных материальных единиц наследственности («факторов наследственности», то есть генов). Это исходное предположение Г. Менделя, известное в науке как принцип дискретной природы наследственности, определило дальнейшее успешное развитие генетики. Следует подчеркнуть, что, руководствуясь этим принципом, Г. Мендель по-новому применил метод гибридизации: скрещивал организмы, отличавшиеся друг от друга по одному или нескольким альтернативным признакам, детально анализировал их проявления у потомства, избрал для исследования относительно простой объект (горох), для фиксации хода и результатов скрещивания ввел буквенную символику, сконструировал понятие наследственных факторов, хотя в то время процессы клеточного деления (митоз, мейоз) не были описаны. Его эксперименты отличались исключительной точностью, математической и статистической обработкой опытного материала.

При описании результатов моно — и дигбридного скрещиваний необходимо обратить внимание на то, что найденные в экспериментах закономерности, известные как законы Г. Менделя (единообразие гибридов первого поколения; расщепление признаков у гибридов второго поколения, независимое наследование) составили основные положения его теории. Кроме законов в теорию Г. Менделя вошла гипотеза чистоты гамет (термин был предложен позднее Бэтсоном), в которой принцип дискретной природы наследственности нашел свое логическое завершение. Гипотеза позволила в

отсутствие знаний о механизмах процессов митоза и мейоза объяснить установленные Менделем законы. Ее сущность может быть сведена к следующим положениям:

- развитие каждого признака контролируется двумя факторами наследственности, полученными от отцовской и материнской форм;
- при образовании гамет в каждую из них попадает только один фактор из данной пары;
- при слиянии гамет доминантный и рецессивный факторы оказываются в одной клетке и сосуществуют, не смешиваясь и не разбавляясь.

Известно, что гипотеза чистоты гамет получила цитологическое обоснование с позиций хромосомной теории наследственности, поэтому изложению цитологических основ законов Г. Менделя следует предпослать рассмотрение краткой истории развития хромосомной теории наследственности и ее основных положений. Важно сообщить, что уже к концу 19-го века были детально описаны процессы митоза, мейоза, оплодотворения, раскрыто их биологическое значение, что позволило сформулировать следующие важнейшие эмпирические обобщения:

- все клетки организма любого вида содержат строго определенное число хромосом. Хромосомы соматических клеток представлены парами морфологически различных типов;
- при делении соматических клеток путем митоза хромосомы распределяются поровну дочерними клетками, в результате их ядра содержат по две хромосомы каждого типа;
- при образовании половых клеток происходит редукционное деление (мейоз), приводящее к уменьшению числа хромосом вдвое. Гаметы несут только по одной хромосоме каждого типа;
- в результате оплодотворения в зиготе восстанавливается двойной набор хромосом.

Следует подчеркнуть, что данные обобщения явились основанием для разработки хромосомной теории наследственности. Дальнейшее ее развитие было связано с исследованиями Т. Бовери, получившего экспериментальные доказательства наследственной роли хромосом, и В. Сеттона, высказавшего пророческие мысли о локализации наследственных факторов (генов) в хромосомах. Установить

связь конкретных генов с определенными хромосомами и выяснить цитологические механизмы наследования генов удалось к концу 20-х гг. Т. Моргану и его сотрудникам (А. Стертеванту, К. Бриджесу, Дж. Меллеру и др.). Результатом этой многолетней работы и явилось создание хромосомной теории наследственности — важнейшего достижения биологии первой половины 20 века. Основные положения этой теории были сформулированы Т. Морганом в его известной работе [5] и могут быть даны дедуктивно в следующей форме:

- наследственные особенности организма определяются генами, расположенными в хромосоме линейно в виде «групп сцепления»;
- каждый ген представлен в клетке дважды — в двух гомологичных хромосомах;
- в процессе мейоза гомологичные хромосомы попадают в различные половые клетки, а значит, и парные (аллельные) гены оказываются в разных гаметах (закон расщепления признаков у гибридов второго поколения);
- разные пары аллельных генов находятся в разных парах гомологичных хромосом, поэтому пары признаков наследуются независимо друг от друга (закон независимого наследования Г. Менделя);
- гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются вместе, «сцепленно» (закон Т. Моргана);
- сцепление генов, находящихся в одной хромосоме, может нарушаться по причине конъюгации и перекреста гомологичных хромосом в процессе мейоза. В результате этого возникают качественно новые хромосомы.

Целостное воспроизведение положений хромосомной теории наследственности позволяет показать старшеклассникам, что эта теория, как наиболее полная, включила в себя «формальную генетику» в качестве самостоятельного фрагмента и дала цитологическое обоснование последней. В составе хромосомной теории наследственности очевиден замкнутый характер теории Г. Менделя: ее законы объясняют только случаи наследования аллельных генов, то есть генов, расположенных в гомологичных хромосомах, и на другие явления наследственности не распространяются.

После рассмотрения цитологических основ законов Г. Менделя следует перейти к кон-

кретизации других положений хромосомной теории наследственности, в частности, к рассмотрению закона сцепленного наследования Т. Моргана и связанных с ним закономерностей нарушения сцепления генов. Уже с позиций хромосомной теории наследственности следует раскрывать закономерности наследования, сцепленного с полом.

Завершить развитие понятия о гене как материальной единице наследственности рассмотрением хромосомной теории (а именно так поступают авторы действующих школьных учебников) — значит ограничиться представлением о гене на уровне развития науки 20-30-х годов, что не согласуется с общепризнанным в дидактике и методике принципом научности и снижает потенциальные возможности интеллектуального развития старшеклассников, интерес к предмету.

Следующим важным этапом в развитии понятия о гене должно стать обращение к теории гена: ее истокам, основным положениям, значению. В связи с этим важно подчеркнуть, что хромосомная теория наследственности привела лишь к пониманию гена как участка хромосомы, но не объяснила его молекулярной природы. Большинство исследователей склонны были считать, что гены — это белки и потому гены представлялись им неделимыми, работающими изолированно. Одним из первых доказательств того, что веществом наследственности являются молекулы ДНК, послужили, как известно, опыты О. Эвери с пневмококками (их описание дается в учебнике Д.К. Беляева и А.О. Рувинского). Важно подчеркнуть, что О. Эвери лишь изложил наблюдаемые факты, но не осмыслил их теоретически, и поэтому представление о том, что гены имеют белковую природу, еще некоторое время преобладало в науке. Только в 1953 году Джеймс Уотсон и Френсис Крик, научные сотрудники Кавендишской лаборатории в Кембридже, установили структуру молекулы ДНК и пришли к пониманию молекулярной природы гена.

Важно заметить, что открытие генетической роли ДНК способствовали данные о химическом составе отдельных нуклеотидов, полученные английскими учеными Морисом Уилкинсом и Розалин Франклин, а также результаты рентгеноструктурного анализа и целый ряд других фактов и эмпирических обобщений [1. С. 15]. Старшеклассники с интересом узнают, что модель ДНК собиралась на основе рентгенограммы по типу детского конструктора из отдельных элементов. В результате этой

трудоемкой работы было выявлено, что уже в самой структуре ДНК заложена возможность ее точного воспроизведения. Следует вспомнить, что идея о самовоспроизводящихся молекулах, ответственных за хранение и передачу наследственной информации, была широко известна в научных кругах, так как впервые высказана еще в 1927 году Н. К. Кольцовым.

Необходимо подчеркнуть, что выяснение молекулярной природы гена «...произвело подлинную революцию в генетике. Ген перестал быть чем-то таинственным» [8. С. 58]. Свойства его можно было теперь изучать не только в опытах по скрещиванию, но и физико-химическими методами. Последние позволили выяснить один из самых важных вопросов молекулярной генетики — механизм биосинтеза белков. В связи с этим в целях дальнейшего понятия о гене учебный материал о сущности генетического кода, этапах реализации генетической информации в процессе биосинтеза белков, представляющий собой фрагмент теории гена, должен быть перенесен (в том же объеме) из цитологического раздела, где он традиционно изучается, в генетической, где без него невозможно дать целостное представление о генной теории. Логика изложения материала о реализации наследственной информации в процессе биосинтеза белков может быть следующей: матричный принцип синтеза макромолекул → определение гена как участка ДНК, служащего для синтеза одной цепи белка → удвоение ДНК → образование и-РНК на матрице ДНК → генетический код и его свойства → биосинтез белков в рибосоме.

В классах, изучающих общую биологию на повышенном уровне, содержание материала должно быть дополнено некоторыми историческими сведениями. В частности, можно сообщить, что впервые идею о триплетности генетического кода сформулировал работавший в США русский физик Г.А. Гамов (1954). Его предположение получило экспериментальное подтверждение уже в 1961 году благодаря исследованиям Ф. Крика, Л. Барнета, С. Бренера и др. В течение следующих пяти лет были расшифрованы все 64 кодона (М. Ниренберг, Дж. Маттеи). Интересно заметить, что открытие механизмов репликации ДНК, транскрипции и трансляции происходило не в порядке их изучения в учебниках, а наоборот: выяснению начальных этапов реализации наследственной информации предшествовало раскрытие этапов трансляции [6].

Существенно отметить, что параллельно

с выяснением механизмов реализации генетической информации исследовалась тонкая структура гена. Уже в 60-х годах было установлено, что ген, кодирующий синтез определенного белка, состоит из нескольких обязательных элементов. Он начинается с обширной регуляторной зоны, оказывающей влияние на активность гена в той или иной ткани организма на определенной стадии онтогенеза. Затем располагается участок, ответственный за транскрипцию данного гена (промотор). Вслед за ним лежит структурная часть гена, заключающая в себе информацию о первичной структуре соответствующего белка. В конце каждого гена находятся специальные триплеты, выполняющие роль знаков препинания (этот участок носит название терминатора). Наше исследование показывает, что усвоение этой информации не вызывает затруднений у старшеклассников, но, в силу принципа научности, имеет существенное образовательное значение: без нее нельзя дать существенное образовательное значение; без нее нельзя дать представление о современной теории гена, поэтому она должна быть предусмотрена базовым уровнем изучения общей биологии. По этой же причине следует познакомить уже на базовом уровне и с другими важными открытиями, сделанными в молекулярной генетике за последние десятилетия. В частности, следует сообщить, что в 80-х годах была выяснена другая важная особенность генов эукариот — их прерывистость: оказалось, что структурная часть гена не представляет собой непрерывную последовательность нуклеотидов, в три раза превышающую число аминокислотных звеньев в молекуле белка, а состоит из чередующихся кодирующих участков (экзонов) и некодирующих (интронов). В процессе транскрипции сначала переписываются и экзоны и интроны; затем интроны с помощью специальных ферментов вырезаются, а экзоны сращиваются в порядке их расположения в ДНК. Только после этого процесса (сплайсинга) на и-РНК в рибосоме синтезируется полипептидная цепь.

Особый интерес вызывают у старшеклассников яркие страницы новейшей истории молекулярной генетики. Так, можно сообщить, что в ДНК эукариот многие гены представлены большим числом копий, то есть повторяются десятки сотни и даже миллионы раз, образуя целые семейства генов, кодирующих одинаковые или сходные белки (тогда как большинство генов прокариот уникальны). Копирование генов, вероятно, дает эукариотическому организ-

му значительные преимущества, так как позволяет в нужный момент синтезировать большое количество белков. Важно также отметить, что значительная часть ДНК эукариот вовсе не содержит гены и потому не кодирует белки. Это так называемая «молчащая» ДНК, роль которой еще предстоит выяснить.

С целью систематизации сказанного о современном строении гена следует сформулировать основные положения молекулярной теории гена:

- ген — участок молекулы ДНК, локализованный в строго определенном месте относительно других генов, способный к редупликации и кодированию одной цепи белка;
- закодированная в генах наследственная информация реализуется на основе матричного принципа (комплементарного взаимодействия нуклеотидов и генетического кода) через процессы редупликации, транскрипции и трансляции;
- передача наследственной информации осуществляется только в направлении: ДНК → РНК → белок. Белок не может служить матрицей для ДНК и РНК;
- гены ограничены знаками пунктуации — терминаторами. Большинство генов эукариот имеет сложную структуру, представленную следующими элементами: регуляторная зона, промотор, структурная часть гена;
- гены прокариот в основном уникальны и непрерывны. Они представлены большим числом копий и имеют экзон — интронную структуру. (В научной литературе положения теории гена формулируются в работе В.А. Ратнера [7]).

Основные положения теории гена позволяют не только обобщить изученный материал вокруг основных идей и понятий, но и помогают сформулировать проблемы, познавательные задачи по молекулярной генетике, для решения которых требуется привлечение конкретных знаний. (Например, в чем главные отличия строения генов про— и эукариот? Каковы современные представления о структуре гена? В каком направлении реализуется наследственная информация? На каких закономерностях основан матричный принцип синтеза макромолекул? и др.).

Развитие понятия о гене продолжается при изучении мутационной теории — важней-

шего обобщения, вокруг которого должен быть сконцентрирован учебный материал о наследственной изменчивости.

Известно, что основы этой теории были заложены голландским ботаником и генетиком Гуго де Фризом. Теория строится на основе принципа дискретной природы наследственной изменчивости, то есть изменчивости генетического материала — генов и хромосом. Ее основные положения лучше формулировать дедуктивно (перед характеристикой различных типов мутаций) в следующей форме:

- мутации — это изменения генотипа, затрагивающие весь геном, целые хромосомы, их части или отдельные гены;
- мутации — редкие события: на 10 — 100 тысяч экземпляров какого-либо гена появляется одна мутация;
- мутации возникают ненаправленно (спонтанно), скачкообразно, у отдельных особей вида и не имеют приспособительного значения;
- мутации, не вызывающие серьезных нарушений в функционировании организма, могут устойчиво передаваться из поколения в поколение;
- близкородственные роды и виды характеризуются возможностью возникновения сходных мутаций.

Данные положения конкретизируются при изучении типов мутаций, искусственного мутагенеза, закона гомологических рядов в наследственной изменчивости Н. И. Вавилова. При рассмотрении дупликаций (разновидность хромосомных мутаций) следует подчеркнуть, что они являются основной причиной многочисленных генных повторов и, видимо, имели существенное значение в эволюционном процессе, так как могли привести к увеличению генетического материала и нарастанию, в связи с этим, сложности организации живого. Так, известно, что переход от бактерий к наиболее высокоорганизованным эукариотам сопровождался увеличением генома в тысячи раз. С учащимися, изучающими общую биологию на повышенном уровне, следует рассмотреть механизм возникновения новых генов на основе преобразования уже существующих: дупликация гена-предшественника → накопление различных мутаций в каждом гене → изменение структуры и функции генов. Важно подчеркнуть, что в пользу существования такого механизма говорит открытие «псевдогенов», или испорченных генов, представляющих собой как

бы неудачные создания новых генов.

При рассмотрении точковых (генных) мутаций в классах базового и повышенного уровня изучения общей биологии необходимо актуализировать знания учеников о экзоне — интронной структуре генов эукариот, этапах реализации генетической информации в процессе биосинтеза белков. Поскольку в изложении мутационной и генной теорий нет значительного разрыва во времени (в отличие от действующих учебников), учащиеся без особых затруднений усваивают, что возможность фенотипического проявления различных мутаций и их значение для эволюции зависят от генетического смысла данной нуклеотидной последовательности: мутация, произошедшая в экзоне, может иметь значительные последствия, тогда как мутации в интроне, псевдогене или межгенной ДНК не оказывают влияния на свойства мутантного организма. Знания о этапах биосинтеза позволяют понять, что к меньшим нарушениям структуры и функций молекулы (ДНК, РНК или белка) приводят мутации, обусловленные заменой нуклеотидов, так как часто они не изменяют значения кодона и потому не оказывают влияния на изменение свойств молекул, тогда как мутации, связанные с выпадением или вставкой нуклеотида, могут привести к серьезным нарушениям структуры и функций молекул и генотипа в целом.

Учащимся, изучающим общую биологию на повышенном уровне, важно сообщить еще об одном источнике возникновения мутаций — мобильных генетических элементах (информация о них дается в учебнике под редакцией А.О. Рувинского). Следует подчеркнуть значение перемещающихся генетических элементов для эволюции: они не только способны встраиваться в разные места генома, но и с помощью вирусов переноситься от одного организма к другому. В результате такого «горизонтального переноса» особь одного вида может получить готовый блок генов от другого.

Из сказанного очевидно, что мутационная теория связывает генетику с современной теорией эволюции, так как изменение структуры и функций генома является основой всех эволюционных изменений.

Следующим этапом в развитии понятия о гене является раскрытие значения теоретических положений генетики для понимания молекулярных основ онтогенеза, закономерностей генетики человека, решения прикладных проблем селекции и новой биотехнологии — генной инженерии.

Важно заметить, что в действующих учебниках, рассчитанных на усвоение общей биологии на базовом уровне, не предусматривается ознакомление старших школьников с генетическими основами онтогенеза. Закономерностям онтогенеза, раскрываемым только на клеточно-организменном уровне, отводится всего один параграф (тогда как филогенезу — целый раздел!). В дальнейшем это важнейшее понятие биологии не получает развития, а описательный материал о стадиях эмбриогенеза быстро забывается. В связи с этим мы считаем важным рассмотреть генетические основы индивидуального развития не только в классах с повышенным уровнем изучения общей биологии (в учебнике под редакцией А. О. Рувинского этому вопросу посвящена целая глава!), но и в классах базового уровня.

Внимание учащихся следует обратить на то, что все диплоидные клетки многоклеточного организма содержат одинаковый набор генов, так как произошли из одной оплодотворенной яйцеклетки — зиготы. Однако клетки различных тканей существенно отличаются друг от друга по строению и функциям. Причины этого различия связаны с процессами детерминации дифференцировки. В процессе детерминации (обусловленности) происходит перепрограммирование генома клеток — предшественниц, в результате чего активными в них остаются только определенные гены. Именно с них информация прочитывается и реализуется в процессе биосинтеза белков (поэтому в эритроцитах образуется гемоглобин, а в клетках поджелудочной железы — инсулин). Реализация не всей, а только части генетической информации приводит, таким образом, к дифференцировке клеток — приобретению ими целой совокупности свойств, типичных для определенной ткани.

Не рассматривая подробно механизмы генной активности, следует сообщить, что еще в 60-х годах Ф. Жакоб, А. Львов и Ж. Моно раскрыли механизм регуляции белкового синтеза у бактерий. Они показали, что на разных этапах онтогенеза одни гены «включаются», другие «выключаются» под воздействием целой системы генов и белков: белков-репрессоров (блокируют синтез и-РНК), генов-регуляторов (регулируют синтез репрессоров), генов-операторов (снимают блокирование синтеза и-РНК) и др. Важно подчеркнуть, что у эукариотных организмов существуют свои механизмы регуляции генной активности, представляющие собой чрезвычайно сложную сис-

тему разнообразных взаимосвязей.

При изучении генетических основ онтогенеза следует также рассмотреть примеры взаимодействия и множественного действия генов, конкретизирующие закономерности проявления генов в развитии. Освещение этого учебного материала после изучения генетических теорий позволяет связать воедино генетику и индивидуальное развитие, углубить знания учащихся о влиянии генотипа и условий внешней среды на проявление признака (показать, что любой ген оказывает влияние на другие гены, а в формировании признака принимают участие, как правило, многие гены). В целом раскрытие генетических основ онтогенеза дает возможность подвести к выводу, что индивидуальное развитие — результат баланса генов. Нарушение этого баланса в силу возникновения мутаций или изменений условий развития приводит к изменению нормального хода онтогенеза.

Таким образом, все вышесказанное позволяет прийти к заключению, что один из самых стабильных разделов заключительного курса биологии, содержание и структура которого без существенных изменений переходит из учебника в учебник, нуждается в серьезном

совершенствовании: пересмотре структуры в свете развития понятия о гене и приведении содержания в соответствие с уровнем развития современной генетики.

### Литература

1. Воронцов Н.Н., Сухорукова Л.Н. Развитие органического мира. М: Наука, 1996. 255 с.
2. Гайсинович А.Е. Зарождение и развитие генетики. М.: Наука, 1988. 422 с.
3. Давыдов В.В. Проблемы развивающего обучения. М.: Педагогика, 1986. 240 с.
4. Зорина Л.Я. Дидактические основы формирования системности знаний старшеклассников. М.: Педагогика, 1978. 128 с.
5. Морган Т.Г. Теория гена. Л.: Сеятель, 1927. 312 с.
6. Сойфер В.Н. Очерки истории молекулярной генетики. М.: Наука, 1970. 257 с.
7. Ратнер В.А. Молекулярная генетика: принципы и механизмы. Новосибирск: Наука, 1983. 256 с.
8. Уотсон Дж. Молекулярная биология гена. М.: Мир, 1978. 720 с.