

К. Е. Безух

*Алгоритмы решения биологических задач в ЕГЭ по биологии*

В работе приводится подробный алгоритм решения биологических задач, предлагаемых абитуриентам на ЕГЭ по биологии. Рассматриваются основные этапы анализа условия задачи, выстраивания правильной схемы рассуждений при ее решении. Даются рекомендации для улучшения качества и повышения скорости выполнения заданий такого типа на экзамене.

**Ключевые слова:** ЕГЭ по биологии, условие задачи, алгоритм решения, анализ, причинно-следственные связи.

К.Е. Bezukh

*Algorithms for solving biological problems in the USE (Unified State Exam) of Biology*

The work illustrates a detailed algorithm for solving biological exercises offered to applicants for the Unified State Exam of Biology. The main stages of the analysis of the task conditions are considered and forming the correct plan of reasoning while solving it is shown. Recommendations are given to improve the quality and increase the speed of completing tasks of this type on the exam.

**Key words:** Unified State Exam of biology, problem condition, solution algorithm, analysis, cause-and-effect relationships.

Одними из традиционных заданий в экзаменационной работе на ЕГЭ по биологии, постоянно встречающихся в пособиях ФИПИ и рекомендованных для подготовки к экзамену, являются задания **линии 28 – решение задач по генетике на применение знаний в новой ситуации**.

Анализ их выполнения в работах экзаменуемых показывает, что обучающиеся в большинстве своем умеют составлять схемы скрещиваний, записывать гаметы, определять генотипы родителей и потомства. Однако кроме типичных задач на сцепленное наследование с кроссинговером и наследование признаков, сцепленных с половой хромосомой, в одном из вариантов 2020 г. был предложен новый тип задачи – наследование двух признаков, расположенных в одной хромосоме, с кроссинговером [Рохлов, Петросова, 2020а, с. 3; Рохлов, Петросова, 2020б, с. 41].

Пример задачи: *У человека между аллелями генов ночной слепоты и дальтонизма происходит кроссинговер. Не имеющая этих заболеваний женщина, у отца которой была ночная слепота, а у матери – дальтонизм, вышла замуж за мужчину, не имеющего указанных заболеваний. Родившаяся в этом браке монозиготная здоровая дочь вышла замуж за мужчину, не имеющего этих заболеваний. В их семье родился ребенок-дальтоник. Составьте схемы решения задачи. Укажите генотипы, фенотипы родителей и генотипы, фенотипы, пол возможного потомства в двух браках. Возможно ли в первом браке рождение больного этими заболеваниями ребенка? Ответ поясните [ЕГЭ. Биология, 2021б, с. 19; ЕГЭ. Биология, 2021а, с. 9; Тренировочные работы, 2021. Вар. 301].*

В такой задаче первая фраза в условии про кроссинговер между генами ночной слепоты и дальтонизма является руководством к записи обоих генов в одной хромосоме. Следовательно, обозначать ночную слепоту как аутосомный признак, что было сделано в большинстве работ экзаменуемых 2020 г., нельзя. Для грамотного оформления задачи и верного ее решения необходимо выстраивание точной схемы рассуждений, которую можно использовать как алгоритм для анализа заданий подобного типа [Безух, 2016, с. 34].

Схема решения задачи должна включать несколько этапов.

**1.** Анализ 1-го предложения. *У человека между аллелями генов ночной слепоты и дальтонизма происходит кроссинговер:* кроссинговер как результат конъюгации возможен только между гомологичными хромосомами. Из школьного курса биологии известно, что дальтонизм – рецессивный, сцепленный с X-хромосомой признак. Следовательно, ген ночной слепоты расположен в этой же хромосоме, иначе невозможен кроссинговер (см первое предложение задачи). В таком случае обозначаем признаки и записываем легенду к задаче:  $X^D$  – нормальное цветовое зрение,  $X^d$  – дальтонизм,  $X^C$  – нормальное ночное зрение,  $X^c$  – ночная слепота.

**2.** Анализ 2-го предложения. *Не имеющая этих заболеваний женщина, у отца которой была ночная слепота, а у матери – дальтонизм, вышла замуж за мужчину, не имеющего указанных заболеваний.* Разделим фразу на 2 части:

- женщина без заболеваний, у отца которой была ночная слепота, а у матери – дальтонизм: по условию отец женщины имел генотип  $X^{Dc}Y$  – наличие ночной слепоты, но в условии не упоминается про дальтонизм, значит, отец здоров по данному признаку; у матери женщины – дальтонизм, но без ночной слепоты, причем дальтонизм в этом случае может проявиться только, если гены этого признака

присутствуют в обеих половых хромосомах женщины, следовательно, генотип матери женщины  $X^{dC}X^{dC}$ ;

- получается, что **генотип женщины**, указанной в условии задачи,  $X^{Dc}X^{dC}$ , так как женщина имеет нормальное зрение, но ген ночной слепоты она получила от отца – с одной X-хромосомой, а ген дальтонизма – от матери, с другой X-хромосомой;

- эта женщина выходит замуж за здорового мужчину –  $X^{DC}Y$ .

После такого тщательного анализа предварительной информации можно записать пару для скрещивания (Ф – фенотип):

Р	♀ $X^{Dc}X^{dC}$	×	♂ $X^{DC}Y$
Ф	норма, норма		норма, норма

Перед написанием гамет, которые возможны у таких родителей, нужно еще раз вспомнить 1-е предложение про кроссинговер (у мужчины кроссинговера не будет). Тогда снова возможны два варианта:

G (гаметы)	<i>без кроссинговера</i> $X^{Dc}, X^{dC}$	$X^{DC}, Y$
G (гаметы)	<i>с кроссинговером</i> $X^{DC}, X^{dc}$	$X^{DC}, Y$

Теперь записываем возможных потомков – к каждому из вариантов (кроссоверные варианты выделены):

F <sub>1</sub>	$X^{DC}$	♀ $X^{Dc}X^{Dc}$	♀ $X^{dC}X^{dC}$	♀ $X^{DC}X^{dC}$	♀ $X^{Dc}X^{dc}$
		норма, норма	норма, норма	норма, норма	норма, норма
	Y	♂ $X^{Dc}Y$	♂ $X^{dC}Y$	♂ $X^{DC}Y$	♂ $X^{dc}Y$
		ночная слепота	дальтоник	норма, норма	дальтоник, ночная слепота

3. Теперь проанализируем варианты потомков, которые можно получить в этом браке. По условию во втором скрещивании принимает участие *родившаяся в этом браке моногаметная здоровая дочь*. В первом браке возможно рождение дочерей с четырьмя сочетаниями генов: ♀  $X^{DC}X^{Dc}$ , ♀  $X^{DC}X^{dC}$ , ♀  $X^{Dc}X^{DC}$ , ♀  $X^{dC}X^{DC}$ . Чтобы правильно и быстро выбрать нужный вариант, необходимо оценить вторую часть предложения: «...вышла замуж за мужчину, не имеющего этих заболеваний. В их семье родился ребенок-дальтоник».

Так как мужчина здоров, а родился ребенок с дальтонизмом, унаследовать данную болезнь он мог только от матери, следовательно, женщина, несмотря на то, что по условию здорова, является носителем гена дальтонизма, но про ночную слепоту у потомка не указано, видимо, по данному признаку рожившийся ребенок здоров.

Такой анализ позволяет найти женщину, соответствующую предъявляемым условиям, – ♀  $X^{DC}X^{dC}$ . Запишем второе скрещивание (родившийся в браке ребенок выделен, это мальчик):

Р	♀ $X^{DC}X^{dC}$	×	♂ $X^{DC}Y$
Ф	норма, норма		норма, норма
G	$X^{DC}, X^{dC}$		$X^{DC}, Y$
F <sub>1</sub>	♀ $X^{DC}X^{DC}$		♂ $X^{DC}Y$
	норма, норма		норма, норма
	♀ $X^{DC}X^{dC}$		♂ $X^{dC}Y$
	норма, норма		<b>дальтоник</b>

4. Проверяем выполнение условий задачи: «Составьте схемы решения задачи. Укажите генотипы, фенотипы родителей и генотипы, фенотипы, пол возможного потомства в двух браках».

5. В конце решения задачи необходим вывод: «Возможно ли в первом браке рождение больного этими заболеваниями ребенка? Ответ поясните». Ответить на данный вопрос помогает анализ первого скрещивания: в случае без кроссинговера все девочки будут здоровы, а мальчики унаследуют только по одному аллельному гену из каждой пары – либо дальтонизма, либо ночной слепоты. В случае с кроссинговером девочки снова будут здоровы, а из двоих возможных мальчиков – один здоров, а второй – сразу с двумя заболеваниями. Следовательно, рождение такого ребенка возможно, но только в случае кроссинговера между генами ночной слепоты и дальтонизма у матери, при котором оба гена окажутся в одной X-хромосоме.

Несмотря на то, что задачи на сцепленное наследование с кроссинговером появились в ЕГЭ по биологии несколько лет назад, в ряде работ они по-прежнему выполняются с грубыми биологическими ошибками. Наиболее характерная из них – неумение устанавливать сцепленность генов по первому

скрещиванию в задачах с кроссинговером. Как и в предыдущие годы, часть участников экзамена в заданиях на сцепленное наследование решала задачу по дигибриднему типу.

Также вызвало затруднение обоснование полученных в задаче на сцепленное наследование результатов: чаще всего учащиеся, вспоминая о явлении кроссинговера, забывали указывать влияние на полученные соотношения самого сцепления, лишаясь балла за неполный ответ. Ошибкой стало неумение правильно определить сцепление генов, поэтому большинство участников экзамена не обратили внимания на распределение больших и малых фенотипических групп в потомстве, написали их просто по порядку, а не на основе анализа результатов сцепления и кроссинговера.

Пример задачи: *При скрещивании курицы с раздвоенным гребнем и множественными шпорами и самца с нормальным гребнем и одной шпорой всё потомство имело нормальный гребень и одну шпору. При анализирующем скрещивании гибридов первого поколения было получено 4 фенотипических класса, имевших 24, 26, 8 и 9 цыплят соответственно. Составьте схему решения задачи. Определите генотипы и фенотипы всех родителей и потомков. Поясните фенотипическое расщепление во втором скрещивании* [Тренировочные работы, 2020. Вар. 204].

Схема решения задачи.

1. Запись первого скрещивания обычно не представляет трудностей, так как соответствует закону единообразия гибридов первого поколения Г. Менделя:

P	♀ aabb	×	♂ AABB
Ф	раздвоенный гребень, множественные шпоры		нормальный гребень, одна шпора
G	<b>ab</b>		<b>AB</b>
F <sub>1</sub>	AaBb – нормальный гребень, одна шпора		

2. Анализ данных второго скрещивания должен привести к выводу о сцеплении генов и кроссинговере. Для проверки правильности предположения следует вспомнить результаты возможных анализирующих скрещиваний.

*Вариант 1:* согласно Г. Менделю в анализирующем скрещивании дигетерозиготы наблюдается независимое наследование признаков, поэтому генотипически и фенотипически проявляется соотношение 1:1:1:1.

*Вариант 2:* в случае полного сцепления без кроссинговера в таком же скрещивании получается соотношение 1:1, так как дигетерозигота дает не четыре, а только два типа гамет.

*Вариант 3:* при неполном сцеплении генов и явлении кроссинговера появляются 4 варианта гамет, но некроссоверные – в большом количестве, а кроссоверные – в малом, следовательно, соотношение не будет равно 1:1:1:1, цифры в двух группах гамет будут значительно различаться (законы Т. Морган).

Если оценить условие задачи, становится понятно, что более всего подходит вариант 3: получено 4 фенотипических класса, имевших 24, 26, 8 и 9 цыплят – два фенотипических класса с большим числом потомков и два – с малым.

3. В таком случае на данном этапе решения задачи самым важным становится правильное определение сцепления генов. Об этом нам говорит первое скрещивание – полученные у потомков гаметы являются наиболее типичными для организмов, описанных в задаче – AB и ab. Можно сделать вывод, что именно эти гены и сцеплены друг с другом: ген А находится в одной хромосоме с геном В, а ген а – с геном b, поэтому максимальное число потомков в анализирующем скрещивании получится при наследовании признаков, обусловленных именно этими генами, – нормальный гребень, одна шпора и раздвоенный гребень, множественные шпоры. Минимальное число потомков будет соответствовать рекомбинации этих признаков между собой – нормальный гребень, множественные шпоры и раздвоенный гребень, одна шпора, что подтверждает наличие кроссинговера.

P <sub>1</sub>	♀ AaBb	×	♂ aabb
Ф	нормальный гребень, одна шпора		раздвоенный гребень, множественные шпоры
G	AB, ab – некроссоверные гаметы Ab, aB – кроссоверные гаметы		ab
F <sub>2</sub>	AaBb – нормальный гребень, одна шпора: 24 или 26 aabb – раздвоенный гребень, множественные шпоры: 26 или 24 Aabb – нормальный гребень, множественные шпоры: 8 или 9 aaBb – раздвоенный гребень, одна шпора: 9 или 8		

4. *Поясните фенотипическое расщепление во втором скрещивании:* таким образом, присутствие во втором скрещивании двух больших фенотипических классов потомков (24 и 26) объясняется сцеплением аллелей А и В, а и b, а наличие двух меньших классов (9 и 8) – явлением кроссинговера (примеры других задач подобного типа: Мазяркина Т. В., 2021).

5. Таким образом, приведённые в работе алгоритмы решения биологических задач, предлагаемых абитуриентам на ЕГЭ по биологии в разделе «№ 28. Генетические задачи», при грамотном применении позволят экзаменуемым выстроить правильную схему рассуждений при их решении, улучшат качество и повысят скорость выполнения заданий такого типа на экзамене.

#### **Библиографический список**

1. Безух К. Е. Методические рекомендации для учителей по подготовке школьников к ЕГЭ по биологии // Естествознание: исследование и обучение : материалы конференции «Чтения Ушинского». Ярославль : РИО ЯГПУ им. К.Д. Ушинского, 2016. С. 30–36.

2. ЕГЭ. Биология : типовые экзаменационные варианты : 10 вариантов / под редакцией В. С. Рохлова. Москва : Изд-во «Национальное образование», 2021. С.9, 128.

3. ЕГЭ. Биология : типовые экзаменационные варианты : 30 вариантов / под редакцией В. С. Рохлова. Москва : Изд-во «Национальное образование», 2021. С.19, 318.

4. Мазяркина Т. В., Первак С. В. ЕГЭ 2021. Биология. 14 вариантов. Типовые варианты экзаменационных заданий от разработчиков ЕГЭ. Москва : Изд-во "Экзамен"; 2021. 167 с. (Серия "ЕГЭ. Тесты от разработчиков").

5. Рохлов В. С., Петросова Р. А. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2020 года по биологии. Москва : ФИПИ, 2020. 28 с.

6. Рохлов В. С., Петросова Р. А. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2020 года по биологии // Педагогические измерения. № 3. 2020. С. 40–60.

7. Тренировочные работы по биологии. 11 класс. СтатГрад. 10.11.2020. Вар. 204.

8. Тренировочные работы по биологии. 11 класс. СтатГрад. 18.01.2021. Вар. 301.