

**Задача 1.***(коэффициент 1)*

**Какие клеточные структуры и процессы пришлось развить клеткам при переходе к многоклеточности? Предположите, из каких структур и процессов их одноклеточных предков они могли развиться?**

1. Способы удержания клеток вместе — молекулы внеклеточного матрикса и молекулы адгезии. Появились в каком-то виде еще на стадии колонии для этих же целей. Многие одноклеточные строят различного рода домики и капсулы, которые могут постепенно начать служить домом для нескольких клеток. Молекулы типа молекул адгезии тоже могли появиться еще на одноклеточной или колониальной стадии для узнавания клетками друг друга. Другая клетка могла служить добычей, симбионтом, субстратом для прикрепления или половым партнером. *(Общая идея об удержании клеток вместе оценивалась в 1 балл, конкретные способы реализации этого механизма и возможные источники его возникновения в 2 балла.)*
2. Способность к дифференцировке в разные стабильные клеточные типы. Зачатки такой способности появляются уже у одноклеточных, так как многие из них проходят в своей жизни несколько морфологически разных стадий. Причем это относится не только к паразитам многоклеточных. Однако дифференцировка как создание многообразных форм из исходно одного генома развита именно у многоклеточных. *(Общая идея о способности клеток к дифференцировке оценивалась в 1 балл, конкретные способы реализации этого механизма и возможные источники его возникновения в 2 балла.)*
3. Способность помещать эти разные клеточные типы на правильные места. При переходе к многоклеточности предстояло изобрести эмбриогенез. А значит систему химических сигналов, позволяющих воспроизводить правильную организацию организма. Какие-то сигналы между клетками должны были появиться уже в первых колониях. *(Общая идея о способности организмов к размещению определенных клеток в определенных местах оценивалась в 1 балл, конкретные способы реализации этого механизма и возможные источники его возникновения в 2 балла.)*
4. Пришлось ограничить срок жизни одной клетки. Работа многих клеток в организме оказалась несовместима с делением. *(2 балла)*
5. Выделить специальную категорию размножающихся клеток — половых — для размножения организма и правильного последующего эмбриогенеза *(2 балла)* и стволовых для роста и регенерации тканей *(2 балла)*.
6. Развить систему клеточных контактов для удержания клеток в правильном порядке и для сопряжения их работы (щелевые контакты). *(2 балла)*
7. Развить процесс апоптоза и другие способы уничтожения поломанных и неправильных клеток. Необходимость полиции. *(2 балла)*
8. Обеспечить прочность многоклеточного организма, чей размер и вес увеличился. Система промежуточных филаментов, которая развилась из ядерных ламин, служащих для укрепления ядра. Клеточная стенка у растений. *(Общая идея об обеспечении прочности оценивалась в 1 балл, конкретные способы реализации этого механизма и возможные источники его возникновения в 2 балла.)*
9. Развить те или иные транспортные системы внутри организма и способы обмена питательными веществами. А значит, усовершенствовать процессы сортировки веществ внутри клетки и процессы секреции. Однако основа этих способностей была приобретена еще одноклеточными, так они тоже что-то секретируют (материал для домиков и привлекают половых партнеров). *(Общая идея о развитии транспортных систем оценивалась в 1 балл, конкретные*

способы реализации этого механизма и возможные источники его возникновения в 2 балла.)

10. Пришлось научиться отличать клетки своего организма от клеток другого (даже того же вида) (2 балла). Маркеры гликокаликса (3 балла), комплекс гистосовместимости (4 балла). У простейших есть похожая проблема при половом процессе узнать свой вид и нужный пол. Соответственно, система сигнальных молекул.
11. Необходимость координации работы большого числа клеток в организме (2 балла). Развитие нервной и гуморальной систем регуляции (3-4 балла в зависимости от степени раскрытия идеи).

### Задача 2.

(коэффициент 4)

Существуют растения однолетние и многолетние. Многолетники, раз поселившись, могут долго расти на одном месте. Казалось бы, они должны полностью вытеснить однолетники. Однако этого не происходит. Как вы думаете, какие стратегии могут использовать однолетние растения, чтобы успешно конкурировать с многолетниками?

1. Однолетники часто занимают свободные места, которые образуются в результате паводков, речных наносов, деятельности роющих животных, а также в результате деятельности человека. (1 балл)
2. Однолетники могут поселяться на неудобных для произрастания многолетников местах, например на каменистых осыпях или других местах, где постоянно происходит нарушение почвенного покрова (1 балл в случае раскрытия темы, ответы типа «растут там, где многолетникам неудобно» не засчитывались).
3. Однолетники быстро растут и приступают к семенному размножению. Поэтому, если они и вытесняются многолетниками, к этому времени они успевают сделать семена. (1 балл)
4. Часто у однолетников очень высокая семенная продуктивность, и семена хорошо приспособлены к распространению на дальние расстояния. Если там, где растение растет сейчас, его вытеснят, какая-то часть семян найдет себе место для прорастания. (1 балл)
5. Многие растения выделяют химические вещества для борьбы с конкурентами. Причем «химическое оружие» может применять не только взрослое растущее растение, но и его семена или отмершие части. (2 балла)
6. Для лучшего выживания растения-однолетники могут образовывать симбиоз с грибами или бактериями в данной конкретной местности, а грибы и бактерии могут, в свою очередь, подавлять рост конкурентов (1-2 балла в зависимости от степени раскрытия темы).
7. В связи с тем, что однолетники в один год могут расти в одном месте, а в другой — в другом, они отчасти могут избегать накопления в месте их произрастания специфических вредителей и паразитов. (3 балла)

### Задача 3.

(коэффициент 4)

Как прокариоты могут противостоять различным неблагоприятным факторам окружающей среды? Предложите возможные механизмы.

Итак, как же можно защититься от неблагоприятных условий?

1. Во-первых, можно использовать механическую защиту. Одна из преград — это клеточная оболочка. Она может быть просто толстой или даже состоять из нескольких слоев. Некоторые бактерии образуют толстые слизистые капсулы или просто выделяют много слизи. Другие микроорганизмы живут в составе биопленки, которая также может защитить от неблагоприятных условий. Существуют и необычные формы механической защиты, например, миксобактерии образуют целые плодовые тела. *(За упоминание каждого из способов механической защиты участнику ставился 1 балл.)*
2. При этом жизнь в биопленке, например, дает сразу второй способ приспособления. Дело в том, что большинство антибиотиков действует на делящиеся клетки. Поэтому остановка деления тоже становится способом защиты от неблагоприятных условий, а именно, от наличия антибиотиков. Такие бактерии могут быть и свободно живущими, но именно в биопленке они обнаруживаются очень часто. *Данная идея оценивалась в 1 балл.*
3. Переживать неблагоприятные условия можно в виде покоящихся форм. Это не только классические споры, но и специфические бактериальные эндоспоры, при которых спора образуется внутри клетки. В таком виде она может находиться в жизнеспособном состоянии очень долго и в самых неблагоприятных условиях. *Данная идея оценивалась в 1 балл.*
4. При попадании вредоносных молекул в клетку можно использовать различные способы: откачивание их из клетки, модификация и другие. *По 1 баллу за каждый способ обезвреживания вредоносных молекул.*
5. Есть бактерии и археи экстремофилы, которые в целом приспособлены жить в неблагоприятных с нашей точки зрения условиях. Они приспособлены именно к своей среде обитания — термофилы имеют более термостойкие белки *(2 балла)*, жители холодных условий характеризуются мембранами, замерзающими при более низких температурах *(1 балл)*, бактерии из кислых местообитаний откачивают из клетки протоны *(1 балл)*. Таких приспособлений у каждой группы микроорганизмов огромное количество. Также *по 1 баллу* за другие приспособления экстремофилов.
6. Неблагоприятными условиями можно считать и наличие конкурентов. Чтобы справиться с ними, можно вырабатывать подавляющие рост или убивающие вещества. *Данная идея оценивалась в 1 балл.*
7. От некоторых факторов можно и «спрятаться». Например, в горячих черных курильщиках, где при небольшом перемещении в сторону можно испытать резкий перепад температур, живут бактерии, обитающие внутри прикрепленных животных (например, сидячих червей). При таком симбиозе бактерии поставляют хозяину питательные вещества, а тот в свою очередь фиксирует их на одном месте и прячет от неблагоприятных условий. *Данная идея оценивалась в 1 балл.*
8. Не только нас, но и бактерий могут атаковать вирусы. И для этого у них есть различные способы защиты, например, система рестрикции-модификации или CRISPR. *По 2 балла за каждую идею.*

#### Задача 4.

*(коэффициент 6)*

**Большинство животных и часть растений имеют два пола. Какие могут быть механизмы определения пола? Для известных вам реальных механизмов приведите пожалуйста по 1 примеру. Можно также предложить гипотетические механизмы.**

1. Самый известный механизм определения пола — хромосомный. Тут надо отметить, что свойственный человеку вариант, когда женский пол имеет две одинаковые X-хромосомы (гомогаметный), а мужской — две разных X и Y хромосомы (гетерогаметный) не универсален. У

других животных гомогаметным может быть мужской пол, а гетерогаметным — женский. Такой вариант характерен для птиц и бабочек. Встречаются также варианты, когда у гетерогаметного пола одна половая хромосома просто отсутствует. Такое встречается например у некоторых клопов.

2. Можно отметить, что даже если формально пол определяется одинаково, механизм его определения может быть различен. Так у человека и двукрылых насекомых (к которым относится модельный объект генетики муха дрозофила) самки XX, самцы XY. Но при нарушениях расхождения хромосом появляются аномальные особи, которые проявляют признаки разного пола. Так организмы с хромосомным набором XO (отсутствие второй половой хромосомы) у человека обладают женскими признаками, а у дрозофилы — признаками самца. А организмы с набором XXY у человека проявляют признаки мужского пола, а у дрозофилы — женского.
3. Важно понимать, что у всех организмов с хромосомным механизмом определения пола полученный при оплодотворении набор хромосом запускает сложную последовательность процессов, в которых задействована работа многих генов и регуляторных веществ в организме. Обычно имеется один или несколько ключевых генов, активность которых запускает каскад реакций, приводящих к формированию организма определенного пола. Эта последовательность может нарушаться на разных этапах, тогда организм с набором хромосом одного пола может проявлять признаки другого.
4. У ряда растений также есть хромосомное определение пола, похожее на таковое у животных. Самый известный пример — Смолевка белая, у которой мужские организмы гетерогаметны, а женские — гомогаметны.
5. В ряде случаев гены, определяющие пол, не находятся на выраженных половых хромосомах, которые можно легко отличить друг от друга по размеру и форме. Иногда в таких случаях говорят об аутосомном определении пола.
6. Для ряда насекомых, самыми известными из которых являются муравьи и пчелы, характерно гапло-диплоидное определение пола. Самки развиваются из оплодотворенных яиц и диплоидны, а самцы — из неоплодотворенных, они гаплоидны.
7. Существуют случаи определения пола под влиянием факторов среды. Здесь самым известным является пример крокодилов. У них пол потомства определяется температурой развития яйца. При более высокой из яиц вылупляются самки, при более низкой — самцы.
8. Известны более сложные варианты определения пола, когда отчасти пол детерминируется на стадии яйцеклетки. Так у коловраток могут формироваться яйца двух типов. Из крупных диплоидных яиц вылупляются партеногенетические самки. Именно так коловратки размножаются чаще всего. Есть виды, полностью перешедшие к партеногенезу. Также могут образовываться мелкие гаплоидные яйца. Из них могут вылупиться самцы, они гаплоидны и производят гаплоидные гаметы. Если такая гамета оплодотворяет гаплоидную яйцеклетку, получается диплоидная самка.
9. Также довольно широко известен червь *Bonellia viridis*, для которого характерно определение пола в зависимости от судьбы личинки. Самцы этого вида паразитируют на самках. Если личинка встречает самку, она превращается в самца. Если же личинка оседает на дно, не встретив самку своего вида, она сама становится самкой.
10. Стоит отметить, что у ряда организмов пол может меняться по ходу жизни. Так у некоторых рыб, среди которых широко известны аквариумные рыбки меченосцы, присутствие крупного половозрелого самца направляет развитие мальков в сторону самок. Но если группа этих

рыбок остается без самца, обычно самая крупная из самок постепенно превращается в самца, приобретая как способность производить сперматозоиды, так и вторичные половые признаки. Также для некоторых животных характерна закономерная смена пола на протяжении жизни.

11. В последнее время широкой известностью пользуется вариант определения пола, который можно назвать казусом природы – когда на пол насекомого влияет наличие у него паразитической бактерии *Wolbachia*. Бактерия как бы «подстраивает» пол хозяина под свои нужды.

Каждая верная идея оценивалась в 1 балл.

### Задача 5.

(коэффициент 6)

**Генетическим дрейфом называют случайные ненаправленные изменения частот аллелей в популяции. В чем сходства и в чем различия протекания этого процесса в больших и малых популяциях? К каким последствиям он может приводить в том и в другом случае?**

Генетический дрейф — процесс случайного ненаправленного изменения частот аллелей в популяции. Ненаправленность — это то, что отличает его от естественного отбора или миграций, так как в этих случаях, как правило, одни аллели закономерно распространяются в популяции в череде поколений, а другие — исчезают из нее. При генетическом дрейфе направления изменения частоты аллелей (т.е. увеличения или уменьшения) от поколения к поколению меняются в произвольном порядке.

Причина дрейфа — это конечная численность реальных популяций, в отличие от бесконечно большой идеальной популяции, используемой в простейших математических моделях популяционной генетики. Из-за этой конечности возникает т.н. *ошибка выборки*. Рассмотрим суть этого явления на примере диаллельного (обладающего всего двумя аллелями) гена в маленькой популяции. Допустим, что в данном поколении каждый из аллелей представлен десятью копиями и что аллели никак не различаются по приспособленности (вероятность произвести потомство у их носителей одинакова). Значит ли это, что в следующем поколении соотношение аллелей опять будет 1:1? Не обязательно: вполне возможно отклонение в любую сторону просто потому, что разные особи оставили разное число потомков (ведь равны только *вероятности* оставления потомства!).

Генетический дрейф происходит во всех природных популяциях (они же не бесконечны!), а иные процессы действуют уже на его фоне. Так, дрейф взаимодействует с отбором, затрудняя его действие — даже носитель полезного аллеля может умереть по случайным причинам. Единственная причина, которая прекращает дрейф, — это устранение изменчивости (ведь если все копии гена представлены одним аллелем, то его частота не будет колебаться). И, если не учитывать новые мутации, дрейф в конечном итоге может привести к тому, что вся популяция превратится в «чистую линию».

Часто можно прочесть, что дрейф происходит только в малых популяциях. Это не так, но такое заблуждение проистекает из того, что в больших популяциях вызываемые им колебания частот аллелей менее выражены. Поэтому в больших популяциях отбор действует эффективнее, устраняя вредные и закрепляя полезные аллели. В малых же популяциях колебания, вызванные дрейфом, гораздо сильнее и могут приводить к устранению полезного и закреплению вредного варианта гена.

Ненаправленность дрейфа приводит к тому, что даже при одинаковых начальных условиях (частотах аллелей) он может привести к разным результатам. Поэтому дрейф является одной из основных причин дивергенции популяций — даже если после возникновения изоляции на них действуют те же самые векторы естественного отбора, дрейф закрепит в них разные аллели. Этот эффект используют в реконструкции родственных связей видов и даже при определении времени расхождения линий. Последнее — т.н. «молекулярные часы» — возможно, так как при дрейфе, если он не осложнен отбором или миграциями, скорость закрепления в популяции новых

мутаций не зависит от численности популяции. Это происходит потому, что в малых популяциях возникает мало новых мутаций (так как там мало копий генов, которые могут мутировать), но они могут быстро закрепиться (так как там колебания частот выражены сильнее) — в больших же все наоборот.

С дрейфом генов связаны эффекты основателя и бутылочного горлышка. Так называют ситуации, когда популяция оказывается обеднена генетической изменчивостью из-за того, что была основана малой группой особей, отделившихся от основной «популяции» в ходе расселения (эффект основателя), или же если популяция претерпела значительное сокращение численности (бутылочное горлышко). В качестве примеров эффекта основателя часто приводят популяции человека с высокой частотой каких-либо наследственных болезней (или просто особенностей), не свойственной той популяции, откуда они произошли — это происходит, потому что среди малого числа основателей этой популяции случайно оказалось относительно много носителей соответствующего аллеля.

Идеи о том, что дрейф генов:

- приводит к изменению частоты аллелей в популяции (1 балл)
- может привести к видообразованию (1 балл)
- не зависит от естественного отбора (1 балл)
- сильнее проявляется в малых популяциях (1 балл)
- ведет к уменьшению изменчивости в 2 балла
- связан с эффектами бутылочного горлышка и основателя — в 3 балла.