I. ЭКОЛОГИЯ

Задача 1.

Опылители на фрагментированных лугах: конкуренция за ресурс, потоки пыльцы и устойчивость растительно-опылительных сетей

Справочная информация

Объект исследования: луговое энтомофильное растение клевер луговой и два основных опылителя.

Шмель полевой (*Bombus pascuorum* Scopoli, 1763) – аборигенный вид. Гнездится в краевых биотопах, лесополосах и нескошенных участках. Радиус фуражировки обычно до 500 м. Чувствителен к фрагментации лугов и отсутствию гнездовых местообитаний. За сезон развивается одна колония; пик рабочих особей – июнь–июль. Длинный хоботок позволяет эффективно вскрывать цветки клевера. Присутствие шмелей на одном соцветии даёт в среднем 12 дополнительных семян.

Медоносная пчела (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758) – управляемый человеком вид. Ульи могут стоять на краю луга; радиус фуражировки до 3 км. Не зависит напрямую от наличия гнездовых биотопов на самом лугу, но менее эффективна при опылении клевера. Присутствие пчел на соцветии даёт в среднем 3 дополнительных семени. Пик активности – июль–август.

Клевер луговой (*Trifolium pratense* Linnaeus, 1753) – энтомофильное, преимущественно перекрёстноопыляемое растение. Каждое соцветие содержит около 100 цветков. Даже без посещения опылителей формируется некоторое количество семян за счёт самоопыления – в среднем 8 семян на соцветие. Для устойчивого возобновления популяции необходимо в среднем не менее 15 семян на соцветие.



А Б В

А – Рабочая особь шмеля полевого (*Bombus pascuorum* Scopoli, 1763);
Б – Цветущий экземпляр клевера лугового (*Trifolium pratense* Linnaeus, 1753);
В – Рабочая особь медоносной пчелы (*Apis mellifera* Linnaeus, 1758)

Рисунок 1 – Внешний вид модельных объектов исследования

Основные угрозы: фрагментация лугов, изоляция участков, отсутствие нескошенных краевых полос, раннее сенокошение, дефицит гнёзд шмелей, насыщение территории ульями медоносной пчелы.

Легенда исследования

Стационар: сеть из 5 луговых пятен в агроландшафте.

Фокусная площадка – луг П1 площадью **1 га (10 000 м^2)**.

Участок	Площадь, га	Изоляция от ближайшего полуестественного биотопа, м
П1	1,0	50
П2	0,8	150
П3	0,5	400
П4	0,3	800
П5	0,2	1500

Дополнительные допущения:

- В расчётах заданий 1.1–1.5 рассматривается только фокусный луг П1 площадью 1 га;
- Плотность соцветий клевера на лугу – 8 соцветий/м^2;
- Одно соцветие продуцирует 0,25 мг сахара в нектаре в сутки;
- Только 40 % нектара доступно шмелям; остальное потребляют другие насекомые, а часть нектара недоступна из-за строения цветков;
- Суточная потребность одной колонии шмелей – 2,0 г сахара;
- Одна рабочая особь шмеля потребляет 84 мг сахара в сутки, одна рабочая особь медоносной пчелы – 30 мг сахара в сутки;
- В задании 1.3 используется модель экспоненциального роста $N_t = N_0 \times e^{rt}$;
- В задании 1.4 считайте, что вклады разных видов опылителей в завязывание семян на одном соцветии суммируются независимо друг от друга.

Задания

1.1 Оценка ёмкости среды для шмелей. Рассчитайте теоретическую ёмкость среды K для колоний шмелей на фокусном лугу площадью 1 га. Используйте формулу:

$$K = (S \times d \times n \times a) / D$$

где S – площадь луга, м^2; d – плотность соцветий, соцветий/м^2;
n – продукция сахара одним соцветием, мг/сут; a – доля доступного нектара;
D – суточная потребность колонии, мг/сут.

Ответ округлите до целого числа колоний.

1.2 Индекс ресурсной эквивалентности. Рассчитайте коэффициент конкуренции α, показывающий, какое количество особей медоносной пчелы по объёму потребления нектара эквивалентно одной рабочей особи шмеля:

$$\alpha = I_b / I_h$$

где I_b – суточное потребление сахара одной особью шмеля, мг;
I_h – суточное потребление сахара одной особью медоносной пчелы, мг.

Ответ округлите до сотых.

1.3 Удельная скорость роста локальной популяции шмелей. В начале мая на фокусном лугу учтено 20 рабочих особей шмелей. Через 120 дней их численность достигла 180 особей. Рассчитайте удельную суточную скорость роста *r* по модели экспоненциального роста:

$$N_t = N_0 \times e^{rt}$$

Результат выразите в процентах в сутки, округлив до десятых.

Примечание: ln 9 ≈ 2,197.

1.4 Вклад шмелей и пчёл в дополнительное завязывание семян. На фокусном лугу обследовано 100 соцветий клевера.

Установлено:

- шмели посетили 50 соцветий;
- медоносные пчёлы посетили 80 соцветий;
- оба типа опылителей посетили 30 соцветий.

Рассчитайте, во сколько раз суммарный вклад шмелей в дополнительное завязывание семян выше вклада медоносных пчёл.

Ответ округлите до сотых.

1.5 Оценка устойчивости популяции клевера. Используя данные задания 1.4 и базальное самоопыление 8 семян на соцветие, рассчитайте среднее число семян на одно соцветие для 100 обследованных соцветий. Затем определите, на сколько процентов это среднее значение превышает порог устойчивости популяции, равный 15 семян на соцветие:

$$\text{Запас устойчивости} = ((S_{ср} - S_{порог}) / S_{порог}) \times 100\ \%$$

Ответ округлите до десятых процента.

1.6 Анализ таблицы посещаемости по градиенту изоляции. В таблице показана частота визитов к цветкам клевера за 10 минут на четырёх луговых участках стационара.

Участок	Визиты шмелей	Визиты медоносных пчёл
Опушка	18	2
П1	12	4
П3	5	9
П5	1	10

Выберите единственно верное объяснение.

Варианты ответов на задание 1.6:

А	Медоносная пчела эффективнее шмеля при опылении клевера, поэтому на удалении 1500 м завязываемость семян выше, чем у опушки.
Б	Шмель ограничен радиусом фуражировки и наличием гнездовых биотопов у опушки, поэтому его вклад падает с изоляцией. Медоносная пчела поддерживается ульями и может фуражировать дальше, но её эффективность на один визит ниже.
В	Оба опылителя одинаково реагируют на изоляцию, а различия в таблице случайны.
Г	Шмели избегают медоносных пчёл из-за прямой агрессии, поэтому у опушки их больше.

1.7 Анализ кривой «визиты – завязываемость семян». На графике смоделирована зависимость итогового числа семян на одном соцветии от суммарного числа визитов для двух разных видов опылителей.

Проанализируйте форму кривых и выберите верное утверждение.

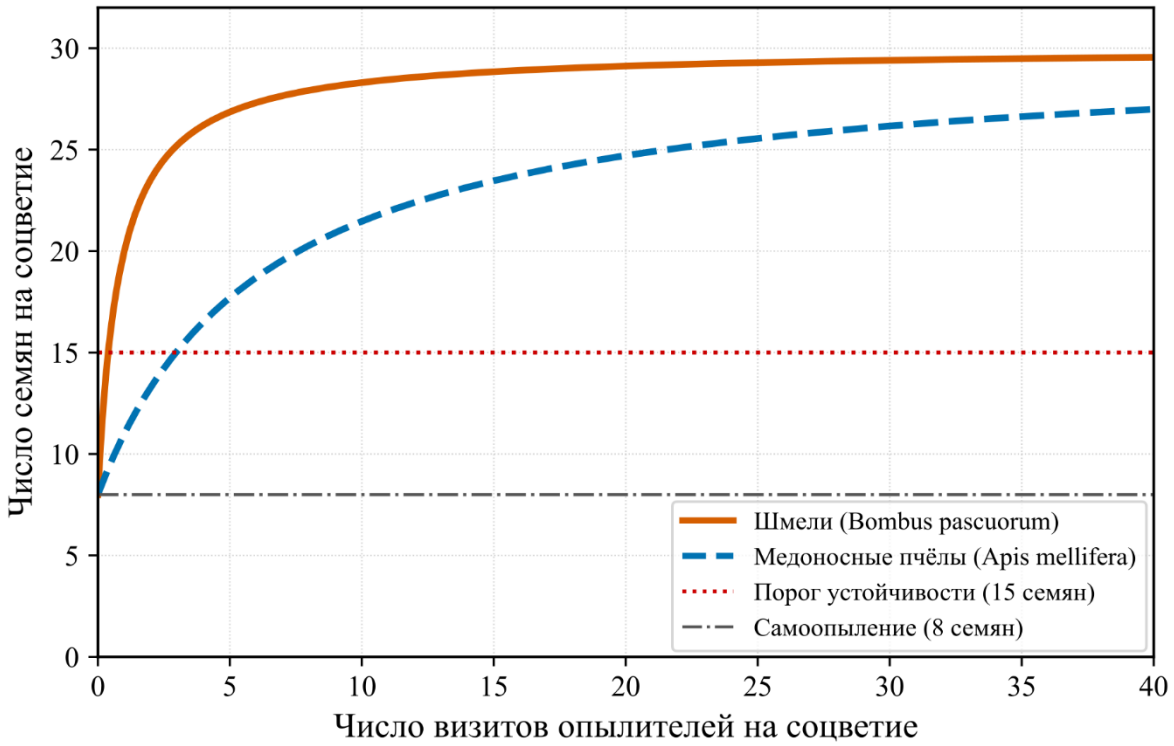


Рисунок 2 – Зависимость завязываемости семян клевера лугового от суммарного числа визитов опылителей на одно соцветие.

Варианты ответов на задание 1.7:

А	При низкой посещаемости наблюдается лимитирование опылением (дефицит пыльцы). При высокой посещаемости завязываемость ограничивается уже другими ресурсами растения. Из-за меньшей эффективности медоносной пчелы её визиты не полностью компенсируют потерю шмелей.
Б	Завязываемость семян растёт линейно без ограничения, поэтому число опылителей не имеет экологического значения.
В	Медоносная пчела эффективнее шмеля, поэтому для достижения той же завязываемости требуется меньше её визитов.
Г	Плато на графике объясняется тем, что клевер полностью переходит на самоопыление при высокой посещаемости.

1.8 Анализ фенологического графика. На графике сопоставлены сроки цветения клевера, пик рабочих особей шмелей и пик медоносных пчёл. При потеплении, обусловленном глобальным изменением климата, цветение клевера смещается на 10 дней раньше, пик шмелей – на 8 дней раньше, а сроки выставки ульев медоносной пчелы человеком не меняются.

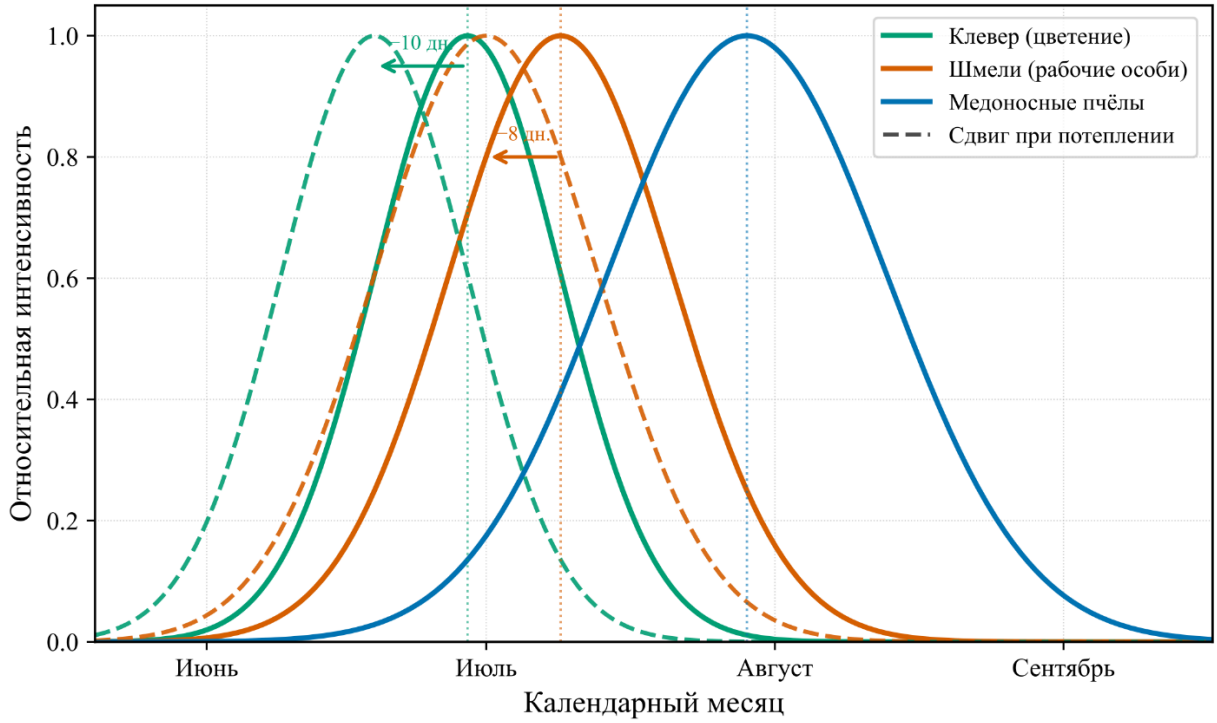


Рисунок 3 – Фенологические сдвиги сроков цветения клевера и пиков активности опылителей при глобальном потеплении климата.

Выберите наиболее корректный прогноз.

Варианты ответов на задание 1.8:

А	Все три фенологические кривые совпадут идеально, поэтому конкуренция исчезнет.
Б	Потепление не влияет на опыление, так как клевер может опыляться ветром.
В	Возникает риск фенологического несовпадения: аборигенный шмель может не успеть полностью синхронизироваться с растением, а медоносная пчела (широкий полифаг и управляемый вид) меньше зависит от климата, но её позднее появление не компенсирует потерю эффективных ранних визитов шмеля.
Г	Пик активности медоносной пчелы идеально совпадёт с ранним цветением клевера, что многократно усилит мутуализм.

1.9 Анализ сети взаимодействий. Экологи сравнили структуру двух растительно-опылительных сетей:

– Непрерывный луг: 12 видов растений, 20 видов опылителей, высокая связанность, выраженная вложенность*;

– Фрагментированный луг: 8 видов растений, 10 видов опылителей, низкая связанность, высокая модульность и узкая специализация*.

** Связность – доля существующих взаимодействий между видами от всех теоретически возможных; Вложенность – структура, при которой узкие специалисты питаются на тех же видах растений, что и массовые виды-генералисты, образуя устойчивое ядро; Модульность – распад сети на обособленные подгруппы, почти не связанные друг с другом.*

Выберите верную интерпретацию.

Варианты ответов на задание 1.9:

А	Фрагментация повышает общую генерализацию сети и делает её более устойчивой к вымиранию видов.
Б	Снижение числа видов автоматически увеличивает связность, поэтому фрагментированная сеть более устойчива.
В	Высокая модульность означает, что сеть стала более взаимозаменяемой: опылители легко переключаются между разными подгруппами.
Г	Фрагментация снижает число связей, повышает модульность и специализацию; такая сеть крайне уязвима к вторичным вымираниям, когда потеря одного вида каскадно разрушает весь изолированный модуль.

1.10 Прогноз при усилении пчеловодческой нагрузки. На фокусном лугу планируют увеличить число ульев медоносной пчелы в 3 раза, при этом ожидается дальнейшая потеря гнездовых биотопов шмелей из-за выкоса краевых полос. Выберите наиболее обоснованный прогноз.

Варианты ответов на задание 1.10:

А	Медоносные пчёлы полностью компенсируют потерю шмелей благодаря высокой численности, поэтому завязываемость семян обязательно вырастет.
Б	Компенсация будет ограничена: медоносная пчела менее эффективна, а без гнездовых биотопов популяции шмелей не восстановятся. Возможна ситуация, когда суммарное число визитов на цветы растёт, но завязываемость семян падает ниже порога устойчивости.
В	Усиление конкуренции между опылителями всегда приводит к строго положительному эффекту для растения.
Г	Медоносная пчела опыляет только клевер, поэтому другие энтомофильные растения луга никак не пострадают.

Требования к решению заданий 1.1–1.10:

– Численности округлять до целых особей/колоний;
– Коэффициенты и проценты округлять до десятых или сотых согласно указанию в задании;
– Корректное внесение буквенного обозначения правильного варианта ответа в бланк ответов при выполнении закрытых тестовых заданий.

II. БОТАНИКА

Задание 2.1.

Рассмотрите цикл *Saprolegnia* sp. – водного грибоподобного организма из отдела Oomycota. Укажите в бланке ответов плоидность структур жизненного цикла (при ответе используйте обозначения **n** и **2n).**

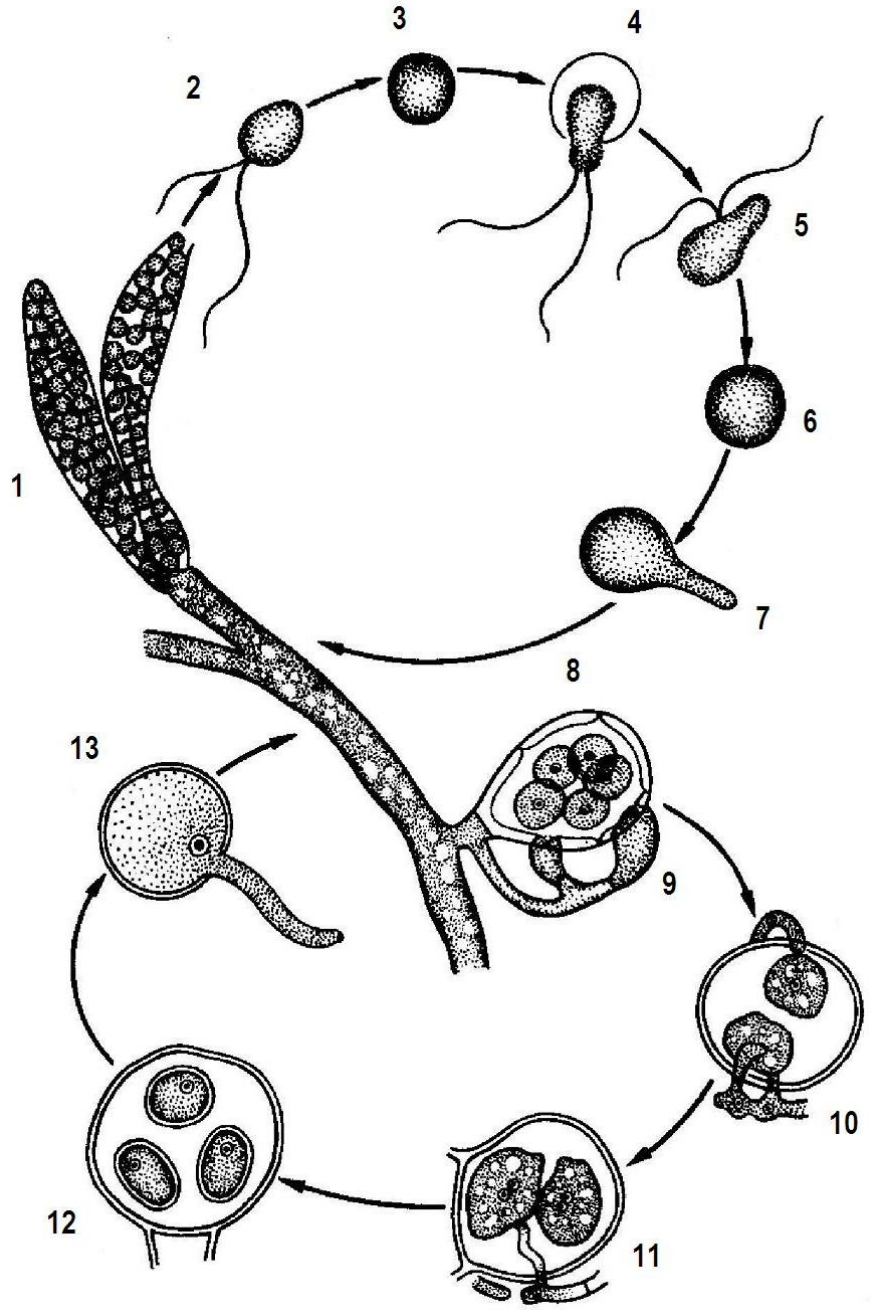


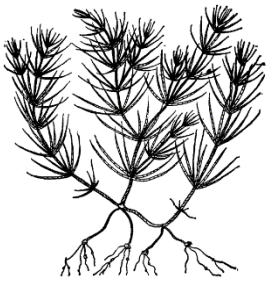
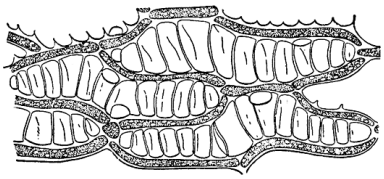
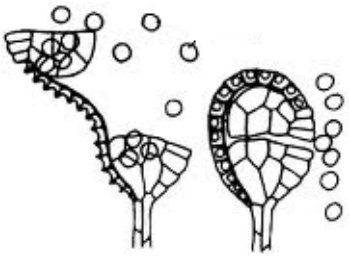
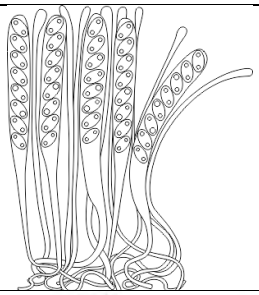
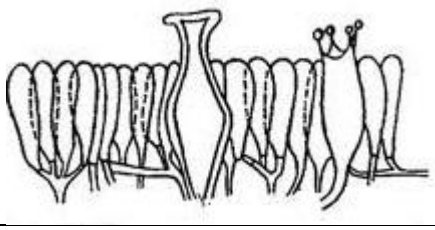
Рисунок 4 – Схема жизненного цикла *Saprolegnia* sp.

Таблица

	№ структуры на схеме	Плоидность
Задание 2.1	**1, 13**	
	1, 2, 3	
	4, 5, 6, 7	
	12	
	8	

Задание 2.2.

Правильно соотнесите структуры, изображенные на рисунках, и отделы растений, водорослей и грибов. **Ответ** запишите в бланк ответов в виде номеров соответствующих отделов (**1, 2…6**).

А 	**1. Ascomycota**
Б 	**2. Polypodiophyta**
В 	**3. Basidiomycota**
Г 	**4. Lycopodiophyta**
Д 	**5. Bryophyta**
Е 	**6. Charophyta**

III. ФИЗИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Задание 3.

Студент биологического факультета получил задание на курсовую работу, в рамках которого ему необходимо было протестировать ряд потенциально ростостимулирующих препаратов при культивировании голубики в условиях *in vitro*. Для выполнения курсовой работы в начале учебного года (1 сентября) преподаватель предоставил студенту быстрорастущую культуру голубики. В культуральном сосуде находилось 2 60-дневных микрорастения голубики, коэффициент мультипликации которых составил 9, т.е. из одного 2-месячного микрорастения можно получить 9 микрочеренков.

По предварительным подсчетам для проведения запланированных экспериментов в трехкратной повторности студенту понадобится не менее 1500 микрочеренков для посадки, при этом растительный материал должен быть готов не позднее марта.

3.1. Рассчитайте, какое максимальное количество стерильных микрочеренков успеет получить студент к началу марта в следующих условиях:

Условие А. Первое микрочеренкование студент провел сразу после получения культуры и в ходе его работы все пересаженные растения выжили, контаминация отсутствовала.

Условие Б. Первое микрочеренкование студент провел сразу после получения культуры, однако при каждом черенковании в связи с наличием контаминации из-за неаккуратной работы у него выбраковывалось 50% всех черенков.

Условие В. Студент работал абсолютно стерильно без растительных потерь, но начал работу не в начале учебного года, а в ноябре.

При всех расчетах предполагаем, что коэффициент мультипликации остается неизменным. При необходимости округления дробных чисел на каждом этапе используем округление в меньшую сторону (например, 1,5 → 1).

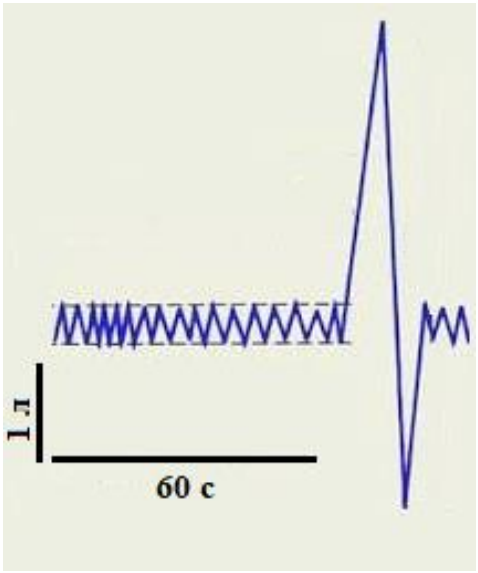
3.2. Напишите, в каких из перечисленных условий (**А, Б, В**) студент сможет провести все запланированные эксперименты?

IV. АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Задание 4.1.

Определите каким будет минутный объем дыхания (МОД), функциональная остаточная емкость (ФОЁ), остаточный объем (ОО) и транспульмональное давление (ТПД), если в условиях атмосферного давления 995 см вод. ст., плевральное давление 987 см вод. ст., альвеолярное давление 991 см вод. ст., общая емкость легких 6 л.

Ответы округлите до целых чисел и впишите в соответствующие ячейки бланка ответов.



Задание 4.2.

Ответы на вопросы вставьте в соответствующие ячейки бланка ответов в виде цифр в порядке возрастания без знаков препинания.

Вопрос 1. Когда давление в альвеолах равно атмосферному?

1. В конце вдоха;
2. В начале вдоха;
3. В конце выдоха;
4. В начале выдоха;
5. В момент достижения ОЕЛ;
6. В момент достижения ОО.

Вопрос 2. Что из нижеперечисленного приведет к наибольшему увеличению минутного объема дыхания?

1. Снижение насыщения вдыхаемого воздуха кислородом с 21 до 18 %;
2. Снижение pH артериальной крови с 7,45 до 7,35;
3. Увеличение парциального давления углекислого газа во вдыхаемом воздухе на 4 мм рт. ст.;
4. Снижение содержания кислорода в артериальной крови с 500 мм рт. ст. до 150 мм рт. ст. артериальной крови.

Вопрос 3. Какой/какие из нижеприведенных механизмов участвуют в адаптации системы дыхания к большой высоте?

1. Увеличения альвеолярной вентиляции;
2. Сдвига кривой диссоциации гемоглобина влево;
3. Уменьшения количества капилляров;
4. Увеличения количества эритроцитов и уровня гемоглобина;
5. Увеличения диффузионной способности.

V. ГЕНЕТИКА

Задание 5.1.

При скрещивании диплоидных высокоинбредных линий овса с урожайностью 6 и 12 г на растение были получены гибриды, для которых было проведено самоопыление. Приблизительно у 1,6% растений второго поколения урожай составил 6 г на растение.

В качестве ответа укажите число генов, по которым различаются сравниваемые инбредные линии. Ответ выразите целым числом.

Задание 5.2.

У кур встречается рецессивный сцепленный с полом летальный ген, который вызывает гибель цыплят до вылупления из яйца. От курочки, скрещенной с гетерозиготным по летальному гену самцом, было получено 90 цыплят.

В качестве ответа укажите ожидаемое количество петушков, полученных в этом скрещивании. Ответ выразите целым числом.

Задание 5.3.

Многими фермерами была отмечена интересная закономерность в наследовании такого признака, как наличие рогов у крупного рогатого скота. Есть линии, где все животные комолые (безрогие), и линии, где все животные с рогами. Если скрестить быка из линии комолых животных с рогатой коровой, то в полученном потомстве все бычки будут с фенотипом мамы (т.е. рогатые), а телочки будут похожи на папу (т.е. комолые). Если же корова из линии комолых животных будет покрыта быком из линии рогатых животных, то все телочки будут похожи на маму (т.е. комолые), а бычки на папу (т.е. рогатые). Если же мы для каждого случая продолжим скрещивание и проанализируем число и соотношение фенотипических классов среди потомков второго поколения, то сможем констатировать, что по характеру расщепления признаков результаты этих скрещиваний различаться не будут: на одного комолого бычка в среднем приходится три комолых телочки, а на одну рогатую телочку приходится три рогатых бычка. Других фенотипических форм среди потомства не выявляется.

Основываясь на наблюдениях фермеров, определите характер наследования признака рогатости и комолости у коров и спрогнозируйте структуру стада следующего поколения при слиянии поголовья двух фермерских хозяйств, если известно, что в первом хозяйстве стадо насчитывало 374 особи, из которых 217 были комолыми, а во втором хозяйстве поголовье представлено 138 особями, из которых комолыми были 44 особи. При решении и формировании ответа следует исходить из того, что перед нами идеальная панмиктическая популяция: начальная структура стада в первом и втором хозяйстве соответствует ожидаемой согласно уравнения Харди – Вайнберга, селекционно-племенная работа в хозяйствах не

проводилась и не будет проводиться после слияния двух стад, в стадах равное соотношение особей разного пола, в структуру стада следующего поколения исходные родительские формы не включаются.

В качестве ответа укажите:

А) Частоту встречаемости аллеля комолости в стаде первого хозяйства численностью 374 особи. Ответ выразите числовым значением в процентах, с точностью до сотых, знак «%» не ставить.

Б) Частоту встречаемости аллеля рогатости в стаде второго хозяйства численностью 138 особей. Ответ выразите числовым значением в процентах, с точностью до сотых, знак «%» не ставить.

В) Ожидаемое количество рогатых бычков во вновь сформированном стаде (после объединения поголовья двух хозяйств). Ответ выразите числовым значением в штуках, с точностью до целых, размерность не указывать.

Г) Ожидаемое количество рогатых телочек во вновь сформированном стаде (после объединения поголовья двух хозяйств). Ответ выразите числовым значением в штуках, с точностью до целых, размерность не указывать.

Д) Ожидаемую частоту встречаемости рогатых особей в структуре стада следующего поколения Ответ выразите числовым значением в процентах, с точностью до целых, знак «%» не ставить.