

Место для баллов:

Код:

**КАБИНЕТ № 3**  
**ЭКОЛОГИЯ**  
*(30 баллов)*

**Продолжительность выполнения задания – 1 час 30 минут (90 минут).**

**ЗАДАНИЕ 1**

**Токсическое действие пестицидов (10 баллов)**

Пестициды, особенно имеющие высокую и сильнодействующую токсичность, могут негативно влиять на окружающую среду, в частности водные и почвенные экосистемы. Разрабатывая пестицид и протокол его применения ученым необходимо максимально ответственно подходить к вопросу возможностей его проникновения в организм животных и человека, а также оценки токсичности для последних.

Токсичность пестицидов является важным аспектом при оценке их безопасности и влияния на здоровье людей и окружающую среду. Понимание основных показателей токсичности пестицидов позволяет обеспечить адекватные меры предосторожности при использовании последних.

К числу основных показателей токсичности пестицидов относятся:

**Пороговая доза (PD)** – наименьшее количество вещества, которое вызывает в организме изменения, определяемые наиболее чувствительными физиологическими и биохимическими тестами; доза, ниже которой отсутствуют внешние признаки отравления животного; наименьшая доза вещества, способная дать определенный биологический эффект.

**Сублетальная доза (SD)** – количество пестицида, которое вызывает серьезные нарушения в организме, но не приводит к его смерти.

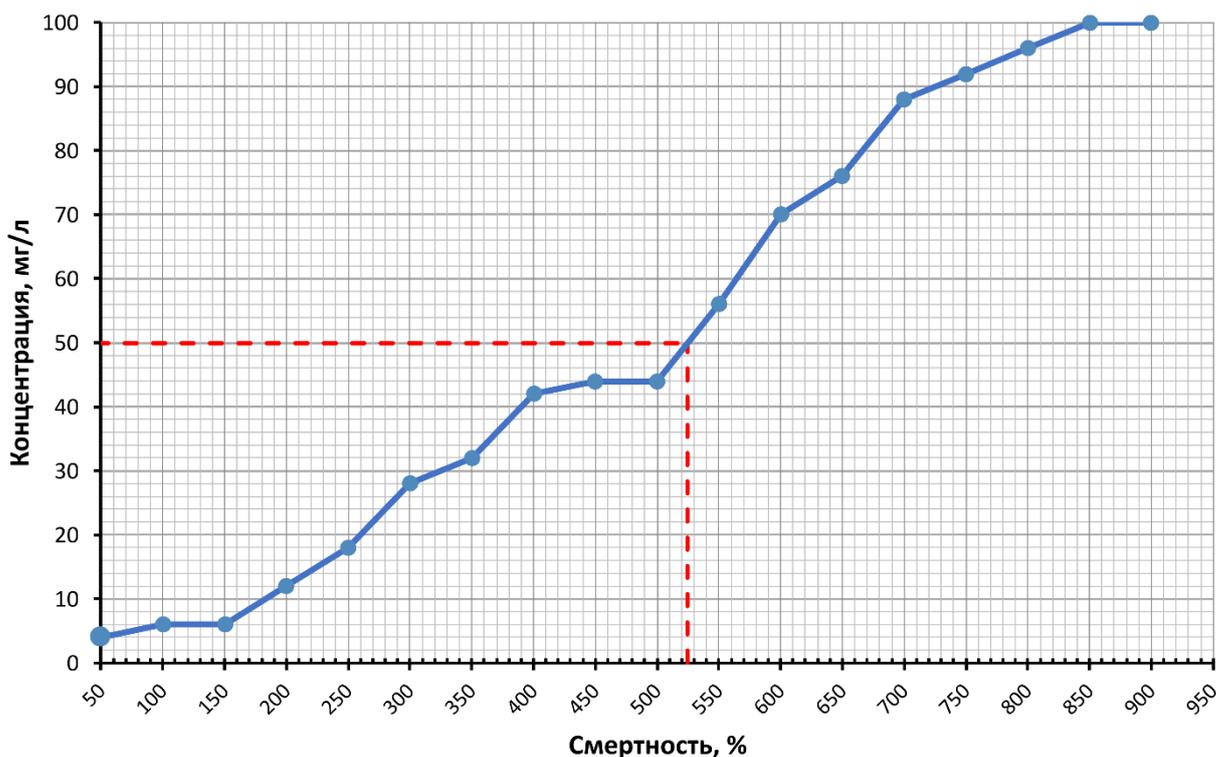
**Летальная доза (LD)** – доза пестицида, которая является смертельной для организма.

Летальную дозу определяют в опытах на животных. Этот показатель зависит от свойств действующего агента, а также от таксономической принадлежности, возраста, состояния и индивидуальной чувствительности организма, поэтому экспериментальное определение летальной дозы необходимо проводить на достаточно представительном количестве подопытных животных. Различают **минимальную летальную дозу**, при которой погибают наиболее чувствительные особи данного вида – не более 10% подопытных животных, **среднюю летальную дозу**, при которой погибает половина ( $LD_{50}$ ), и абсолютно смертельную – минимальную дозу, вызывающую гибель всех подопытных животных ( $LD_{100}$ ).

При моделировании, проведении и анализе результатов эксперимента по установлению меры токсичности  $LD_{50}$  необходимо учитывать целый ряд ограничений. В частности, результаты эксперимента могут значительно отличаться в связи с такими факторами, как генетические и физиологические различия видов испытуемых животных, способ введения, унификация объемов выборки подопытных животных (в каждом случае должно быть одинаковое число особей).

На серии представленных ниже изображений запечатлены результаты исследования токсичности нового инсектицида (см. стр. 3–4). Вам предстоит провести их анализ и осуществить контроль за качеством постановки и единообразием условий проведения эксперимента.

**1.1** На основании результатов проведения эксперимента по установлению меры токсичности  $LD_{50}$  постройте точечно-линейный график и обозначьте на нем точку, соответствующую значению средней летальной дозы в отношении модельных организмов. Проведите горизонтальную и вертикальную пунктирные линии, которые наглядно продемонстрируют это на полученном графике (6,5 баллов).



**Зависимость процента смертности от концентрации инсектицида**

**1.2** На основании графика заполните приведенную ниже таблицу:

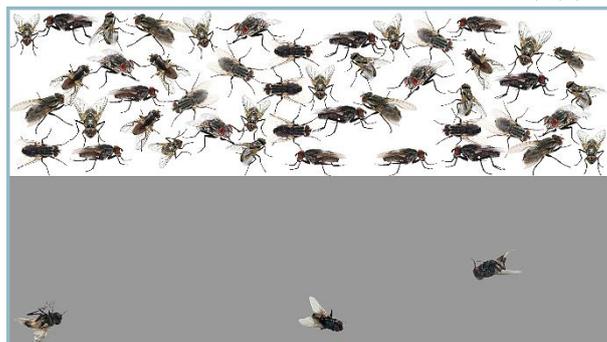
**Таблица для ответов на задание 1.2**

Минимальная летальная доза составляет	<i>180 мг/л</i>	<i>0,5 балла</i>
Средняя летальная доза равна составляет	<i>525 мг/л</i>	<i>0,5 балла</i>
Абсолютно смертельная – минимальная доза составляет	<i>850 мг/л</i>	<i>0,5 балла</i>

**Результаты исследования меры токсичности LD<sub>50</sub> нового инсектицида:**



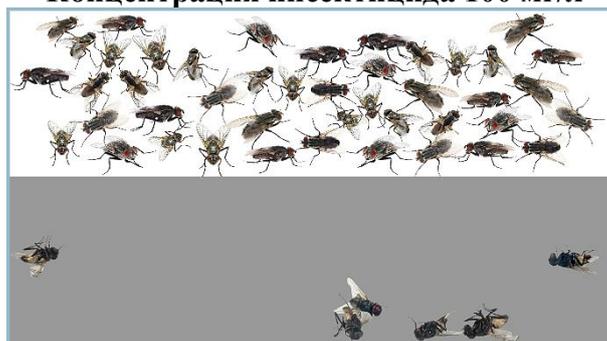
**Концентрация инсектицида 50 мг/л**



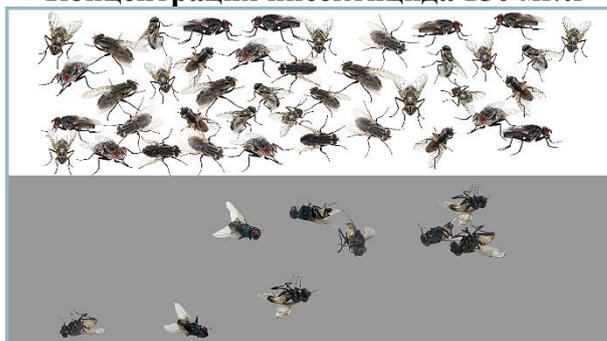
**Концентрация инсектицида 100 мг/л**



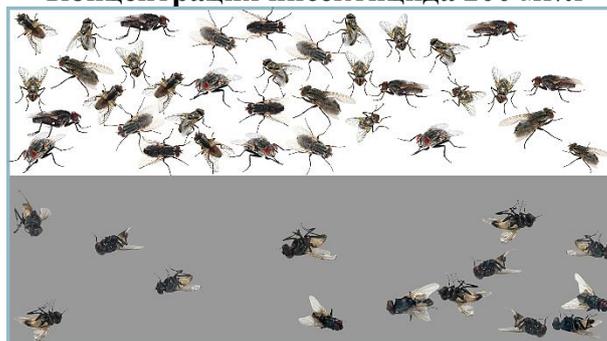
**Концентрация инсектицида 150 мг/л**



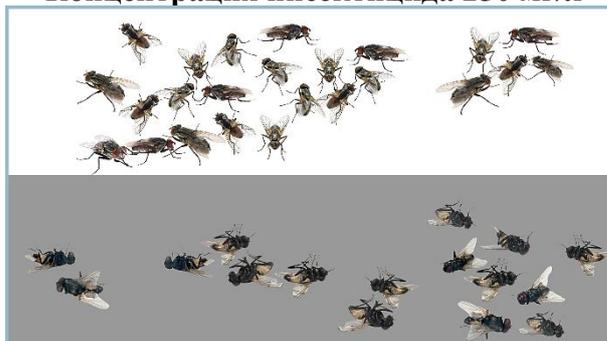
**Концентрация инсектицида 200 мг/л**



**Концентрация инсектицида 250 мг/л**



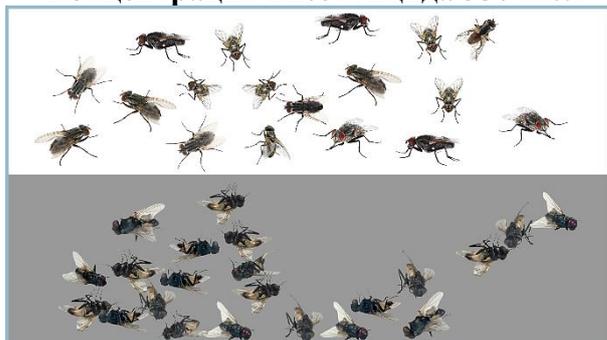
**Концентрация инсектицида 300 мг/л**



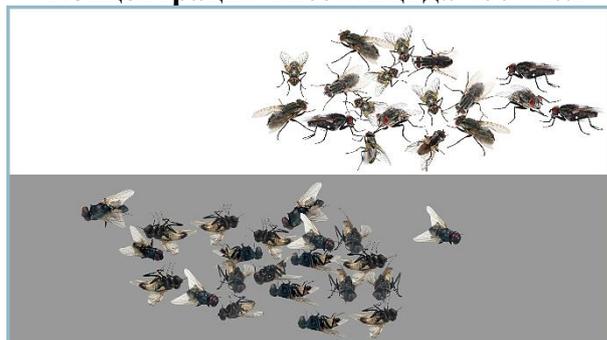
**Концентрация инсектицида 350 мг/л**



**Концентрация инсектицида 400 мг/л**



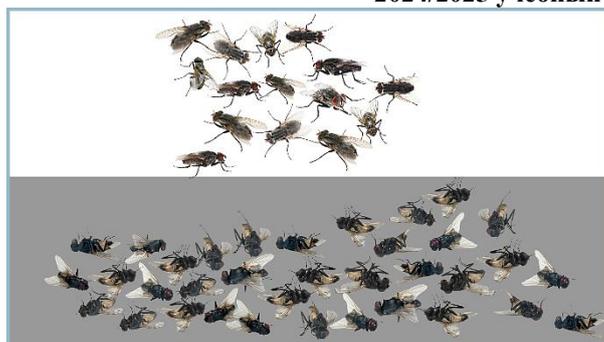
**Концентрация инсектицида 450 мг/л**



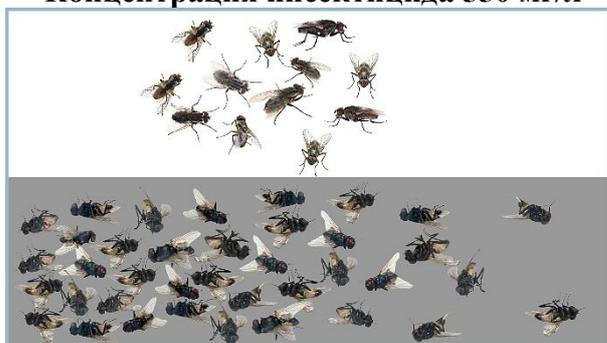
**Концентрация инсектицида 500 мг/л**



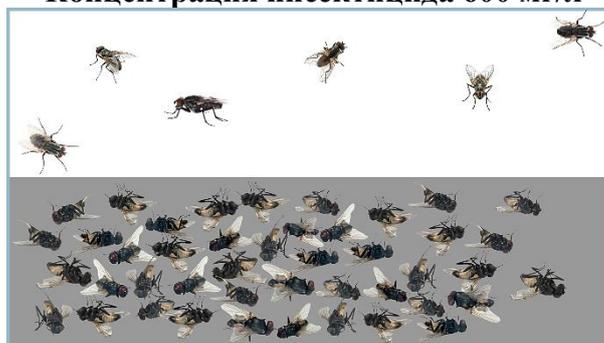
Концентрация инсектицида 550 мг/л



Концентрация инсектицида 600 мг/л



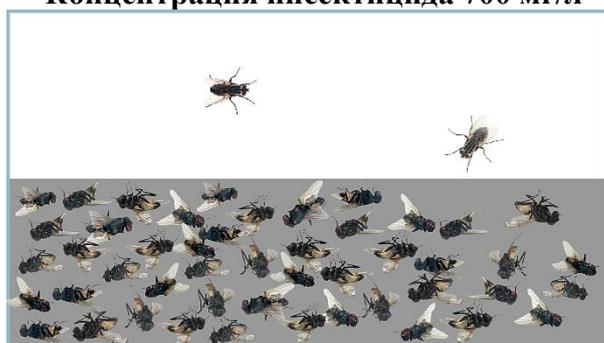
Концентрация инсектицида 650 мг/л



Концентрация инсектицида 700 мг/л



Концентрация инсектицида 750 мг/л



Концентрация инсектицида 800 мг/л



Концентрация инсектицида 850 мг/л



Концентрация инсектицида 900 мг/л

1.3 На основании анализа данных проведенного эксперимента укажите имелись ли при его выполнении какие-либо существенные недочеты, которые могли отразиться на интерпретации полученных результатов (2 балла).

*Ответ: к числу очевидных недостатков можно отнести введение в эксперимент более чем одного вида модельных животных, что видно по габитуальным различиям (цвет / окраска брюшка и др.) у отдельных особей*

## ЗАДАНИЕ 2

### Расчет индексов биологического разнообразия (20 баллов)

Видовое разнообразие – очень важное свойство экосистем. С ним связана устойчивость систем к неблагоприятным факторам среды. Разнообразие обеспечивает как бы подстраховку, дублирование устойчивости. Вид, который присутствует в числе единичных экземпляров, при неблагоприятных условиях для широко представленного вида, в том числе и доминантного, может резко увеличить свою численность и, таким образом, заполнить освободившееся пространство (экологическую нишу), сохранив экосистему как единое целое.

Одним из широко используемых в практике экологических исследований индексов биологического разнообразия является индекс разнообразия Симпсона. Данный расчетный показатель отражает меру вероятности того, что две случайно выбранные особи будут принадлежать к одному и тому же виду. При анализе полученных результатов необходимо руководствоваться следующим подходом – чем меньше разнообразия, тем больше вероятность описанного выше события. Например, при отсутствии разнообразия (1 вид) вероятность того, что две случайно выбранные особи будут принадлежать к одному и тому же виду, окажется равна 1. Индекс Симпсона рассчитывается следующим образом:

$$D = \sum_{i=1}^n \left( \frac{n_i}{N} \right)^2$$

где  $D$  – индекс разнообразия Симпсона,  
 $n_i$  – число особей вида  $i$ ,  
 $N$  – общее число особей всех видов,  
 $n_i/N$  – доля особей вида  $i$  ( $p_i$ ),  
 $n$  = число видов в сообществе (видовое богатство).

Значение индекса Симпсона ( $D$ ) может варьировать от 0 до 1, где 0 представляет бесконечное разнообразие, а 1 представляет отсутствие разнообразия.

Другим широко используемым индексом разнообразия, при расчете которого учитывают как видовое богатство, так и видовую равномерность, является индекс разнообразия Шеннона-Винера, первоначально предложенный. Данный индекс связан с концепцией неопределенности. Например, в случае, если сообщество имеет очень низкое разнообразие, мы можем быть достаточно уверены в идентичности таксономической принадлежности организма, который мы можем выбрать случайным образом (высокая уверенность или низкая неопределенность). Если же сообщество очень разнообразно, и мы выбираем

организм случайным образом, у нас есть большая неопределенность относительно того, какой вид мы выберем (низкая уверенность или высокая неопределенность). Индекс Шеннона-Винера рассчитывается следующим образом:

$$H' = - \sum_{i=1}^n (p_i \ln p_i)$$

где  $H'$  – индекс разнообразия Шеннона-Винера,  
 $p_i$  – доля особей  $i$ -го вида,  
 $\ln p_i$  – натуральный логарифм  $p_i$ ,  
 $n$  – число видов в сообществе (видовое богатство).

Величина индекса  $H'$  в среднем колеблется от 1,5 до 3,5 и крайне редко превышает 4,5. Обратите внимание, что знак « $\leftarrow$ » в расчетном показателе индекса видового разнообразия Шеннона-Винера ( $H'$ ) не принимается во внимание (его не нужно учитывать).

Для оценки изучаемых сообществ исследователи часто прибегают к расчету показателей видовой выравненности в таковых. Индексы видовой выравненности отражают насколько близки по численности особи каждого вида в изучаемом сообществе. Так, если в изучаемом сообществе есть 10 особей Вида А и 1000 особей Вида Б – сообщество считается не равномерным. Напротив, в случае если в сообществе выявлено 10 особей Вида А и 12 особей Вида Б, сообщество является равномерным. Выравненность сообщества может быть представлена индексом выравненности Пиелу. Данный индекс рассчитывается по приведенной ниже формуле:

$$J = \frac{H'}{H'_{max}}$$

где  $J$  – индекс Пиелу,

$H'$  – индекс разнообразия Шеннона-Винера текущего сообщества,

$H'_{max}$  – максимальное значение индекса

разнообразия Шеннона-Винера в ряду сравниваемых сообществ

Значение  $J$  может варьировать от 0 до 1. Более высокие значения указывают на более высокие уровни равномерности (видовой выравненности). При максимальной равномерности  $J = 1$ . Индекс Пиелу ( $J$ ) можно использовать в качестве мер доминирования видов (противоположность разнообразию) в сообществе. Низкое значение  $J$  указывает на то, что в сообществе доминирует 1 или несколько видов.

Внимательно рассмотрите рисунки 2.1 и 2.2 на которых представлено население водоплавающих птиц двух озер Беларуси (Рисунок 2.1 – население водоплавающих птиц озера 1; Рисунок 2.2 – население водоплавающих птиц озера 2).



Рисунок 2.1 – Сезонное население водоплавающих птиц модельного озера 1



Рисунок 2.2 – Сезонное население водоплавающих птиц модельного озера 2

**2.1** На основе Ваших знаний орнитофауны Беларуси распознайте виды, присутствующие в сообществах каждого из озер (Рисунки 2.1 и 2.2). Ответы занесите в таблицу ниже. Обратите внимание, что число строк в таблице для ответов на задание может быть избыточным. В случае, если вам не известно название вида, однако Вы четко отличаете его по характерным особенностям морфологии обозначьте его как Вид 1, Вид 2, Вид 3 и т.д. Название известных видов приведите в русском и/или латинском вариантах.

**Таблица для ответов на задание 2.1 (0,5 балла за правильную строку):**

Вид	Число особей в экосистеме Озера 1	Число особей в экосистеме Озера 2
Гоголь обыкновенный ( <i>Bucephala clangula</i> )	8	8
Кряква ( <i>Anas platyrhynchos</i> )	24	9
Лебедь-шипун ( <i>Cygnus olor</i> )	7	5
Мандаринка ( <i>Aix galericulata</i> )	1	9
Чернеть белоглазая ( <i>Aythya nyroca</i> )	2	6
Чернеть морская ( <i>Aythya marila</i> )	3	9
Чернеть хохлатая ( <i>Aythya fuligula</i> )	4	9
Поганка большая, или чомга ( <i>Podiceps cristatus</i> )	3	9
Поганка красношейная ( <i>Podiceps auritus</i> )	1	5

**2.2** На основе данных, заполненных в таблицу для ответов на задание 2.1 рассчитайте показатели  $n$  и  $N$  для каждого из модельных озер, представленных на рисунках 2.1 и 2.2. Ответы занесите в таблицу ниже (0,25 балла за ответ).

**Таблица для ответов на задание 2.2:**

Озеро 1		Озеро 2	
$n$	$N$	$n$	$N$
9	53	9	69

**2.3** На основе данных занесенных Вами в таблицу для ответов на задание 2.2 рассчитайте индексы Симпсона ( $D$ ), Шеннона-Винера ( $H'$ ), Пиелу ( $J$ ). Для проведения расчетов используйте инженерный калькулятор, все

