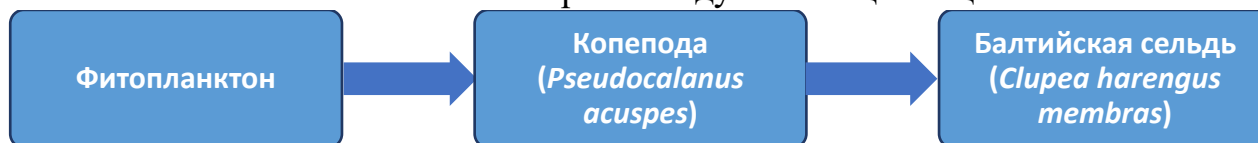


I. ЭКОЛОГИЯ

Задание 1.

В пелагиали Балтийского моря исследуется пищевая цепь:



Акватория загрязнена микропластиком (МП) и полихлорированными бифенилами (ПХБ). Микропластик вызывает истощение копепод, а ПХБ десорбируясь в кишечнике организмов, запускают сложные токсикокинетические процессы.

Исходные данные

Биоэнергетическая и экотоксикокинетическая модель:

1. Копепода – консумент I порядка, сухой вес $W=500$ мкг, продолжительность жизни половозрелой стадии длится 30 дней:

- **Питание:** Фильтрует 0,2 л/сут.; в воде фитопланктон – 5000 кл/л (масса 1 мкг/кл, 0,02 Дж/мкг), МП – 500 частиц/л (масса 5 мкг/част).
- **Ассимиляция энергии:**

$$AE = 0,70 \times (1 - 0,6 \times P_{MP}),$$

где P_{MP} – доля МП от общей массы проглоченного материала

- **Токсин:** на 1 мкг МП адсорбировано 0,1 нг ПХБ. Эффективность всасывания ПХБ копеподой из кишечника в ткани = 20 %.
Из-за короткой жизни копепода не экскретирует ПХБ (накопление линейно изо дня в день).
- **Динамический метаболизм:** Базовый обмен – $M_0 = 8$ Дж/сут.
Траты на детоксикацию требуют дополнительных энергозатрат:

$$M(t) = M_0 + 5 \times C_{cop}(t), \text{ где}$$

$C_{cop}(t)$ – текущая концентрация ПХБ в теле на конец дня t (в нг/мкг).

- **Репродукция:** Цена 1 яйца = 4 Дж. Вся энергия свыше $M(t)$ конвертируется в яйца (считаем сумму за 30 дней, берем целую часть).

2. Сельдь – консумент II порядка, масса 50 г = 50000 мг, нагул длится 120 дней):

- **Энергетика:** Тратит 5000 Дж/сут. Усваивает 80 % энергии из съеденных 30-дневных копепод (калорийность копеподы 0,025 Дж/мкг сухого веса). Сельдь питается ровно столько, чтобы покрыть свои 5000 Дж.
- **Токсикокинетика первого порядка:** Эффективность всасывания ПХБ из съеденных копепод (AE_{pcb}) = 60 %

В отличие от копепод, у рыб активно работают ферменты печени (цитохром P450), разрушающие и выводящие ПХБ. Скорость выведения пропорциональна накопленной массе токсина.

Динамика массы токсина в теле рыбы $Q(t)$ описывается интегральным уравнением:

$$Q(t) = \frac{I}{k_e} (1 - e^{-k_e \times t})$$

где:

I – суточное поступление ПХБ в кровь рыбы (мкг/сут);

k_e – константа скорости элиминации = $0,01 \text{ сут}^{-1}$;

t – время нагула в днях ($t = 120$);

$e \approx 2,718$

3. Изотопная экология: Соотношение стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$) позволяет точно определить трофическую позицию (ТР). Базовый уровень фитопланктона $\delta^{15}\text{N}_{\text{base}} = 2,0 \text{ ‰}$. Трофическое фракционирование (обогащение тяжелым изотопом на каждый уровень) $\Delta^{15}\text{N} = 3,4 \text{ ‰}$.

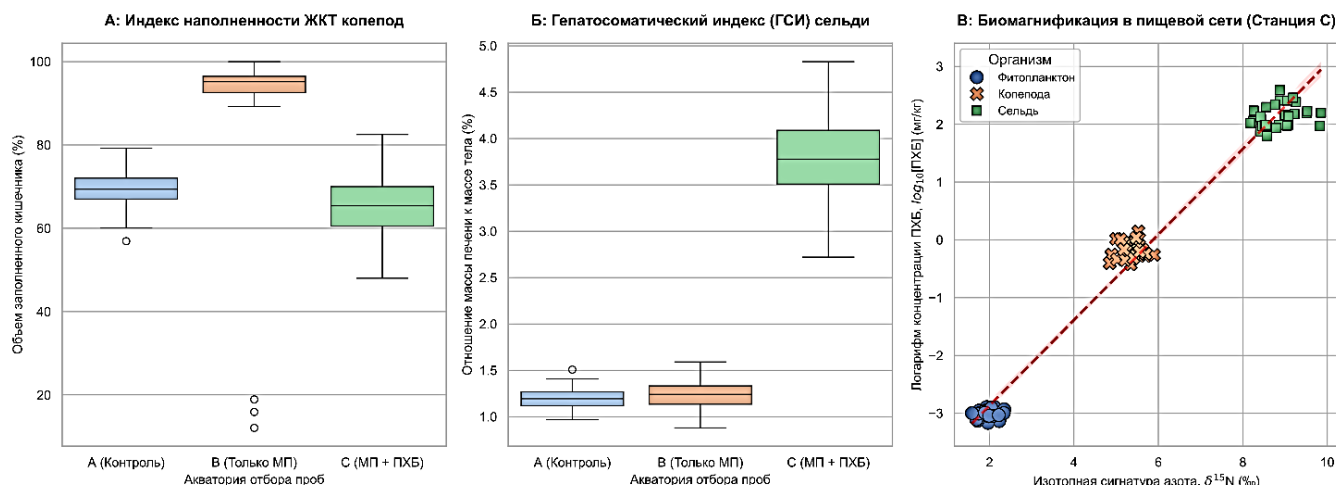


Рисунок 1 – Графические результаты экологического мониторинга в исследуемой акватории Балтийского моря

Задания:

- 1.1 Рассчитайте, сколько суммарно яиц отложит одна самка копеподы за 30 дней жизни в условиях модельного загрязнения. При выполнении расчетов примените формулу суммы арифметической прогрессии.
- 1.2 Рассчитайте итоговую концентрацию ПХБ (в $\text{мг/кг} = \text{ppm}$) в тканях сельди в конце 120-дневного периода нагула, с учетом работы системы детоксикации (k_e). *Примечание: $e^{-1,2} \approx 0,301$.*
- 1.3 В реальности сельдь питается не только копеподами, но и более крупным хищным зоопланктоном (например, мизидами). Основываясь на медианных значениях $\delta^{15}\text{N}$ из графика В (Рисунок 1), рассчитайте истинную трофическую позицию (ТР) сельди. Формула:

$$\text{ТР}_{\text{consumer}} = 1 + (\delta^{15}\text{N}_{\text{consumer}} - \delta^{15}\text{N}_{\text{base}}) / \Delta^{15}\text{N}$$

- 1.4 Сравните распределение данных на Станции В (Только МП) и Станции С (МП + ПХБ). Несмотря на одинаковую концентрацию микропластика в воде на

обеих станциях, медианная наполненность ЖКТ копепод на Станции С достоверно ниже (~65 %), чем на Станции В (~95 %), и характеризуется большим размахом. Каким экофизиологическим механизмом это объясняется?

Варианты ответов на задание 1.4:

А	Химическая реакция ПХБ с желудочным соком копепод приводит к мгновенному растворению пластиковых частиц
Б	Токсический стресс от всасывания ПХБ вызывает нарушение работы нервной системы ракообразных и общее угнетение метаболизма, что приводит к снижению скорости фильтрации воды (анорексигенный эффект загрязнителя)
В	На Станции С сельдь активнее выедает копепод с полными кишечниками, так как они более заметны в толще воды (визуальный контроль хищника)
Г	Молекулы ПХБ конкурируют с пластиком за место в пищеварительном тракте, физически вытесняя полимерные частицы

1.5 На Графике А для Станции В (Только МП) отчетливо видны выбросы – несколько точек в самом низу, указывающих на особей с практически пустым кишечником (0–15 %). При этом основная масса особей популяции заполнена пластиком под завязку (медиана 95 %). Какой физиологический процесс свойственный членистоногим наиболее вероятно является причиной появления этих выбросов в выборке?

Варианты ответов на задание 1.5:

А	Острая бактериальная инфекция кишечника, вызванная микробиомом пластисферы
Б	Избирательное отрывивание исключительно полимерных частиц после их распознавания хеморецепторами ротовых придатков
В	Процесс линьки, при котором происходит сбрасывание хитиновой выстилки передней и задней кишки вместе с их содержимым
Г	Переход на питание растворенным органическим веществом (РОВ) путем прямого осмоса через жабры при критическом засорении ЖКТ

1.6 График Б показывает норму ГСИ на Станции В, но острую гепатомегалию (увеличение печени) на Станции С. В чем фундаментальное физико-химическое различие поведения микропластика и ПХБ в организме рыбы (сельди), которое объясняет этот график?

Варианты ответов на задание 1.6:

А	МП полностью переваривается ферментами желудка рыбы до простых сахаров, а ПХБ не поддаются гидролизу
Б	Частицы МП обладают слишком большим размером, чтобы преодолеть эпителий кишечника, и транзитно выводятся с экскрементами. ПХБ, напротив, являются высоко липофильными малыми молекулами, которые легко всасываются в кровь и по воротной вене поступают в печень, индуцируя синтез ферментов Цитохрома Р450
В	МП всасывается в кровь, но накапливается в мышечной ткани, а не в печени, тогда как ПХБ транспортируются исключительно в гепатоциты
Г	Гепатомегалия на Станции С вызвана не ПХБ, а механическим повреждением желчных протоков острыми краями пластика

1.7 Какая группа ферментов фазы I детоксикации печени массово индуцируется (синтезируется) в ответ на поступление полихлорбифенилов (липофильных ксенобиотиков)?

Варианты ответов на задание 1.7:

А	ДНК-полимеразы
Б	АТФ-синтазы
В	Ферменты семейства Цитохром Р450 (например, СYP1A)
Г	Пищеварительные протеазы (трипсин и пепсин)

1.8 На Графике В представлена классическая линейная регрессия вида $y = a \cdot x + b$, где y – это $\log_{10}[\text{ПХБ}]$, а x – сигнатура $\delta^{15}\text{N}$. Что в биологическом и экологическом смысле означает коэффициент наклона a и расположение точек по оси X ?

Варианты ответов на задание 1.8:

А	Наклон a отражает Период полувыведения ПХБ из организма, а положение фитопланктона на оси X строго равно нулю, так как водоросли не потребляют азот
Б	Наклон a отражает фактор трофической магнификации – скорость прироста концентрации токсина на каждый трофический уровень). Фитопланктон смещен по оси X вправо ($\sim 2,0 \text{ ‰}$), так как это отражает базовую изотопную сигнатуру растворенных в воде неорганических нитратов
В	Наклон a показывает Индекс биологического разбавления, а ось X отражает возраст организмов в месяцах
Г	Наклон a характеризует степень гидрофильности токсина: чем он круче, тем лучше токсин растворяется в воде

1.9 Почему для построения трофических сетей в современной гидробиологии анализ изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$) и углерода ($\delta^{13}\text{C}$) предпочтительнее классического метода анализа содержимого желудков?

Варианты ответов на задание 1.9:

А	Изотопы усваиваются только хищниками и полностью игнорируются консументами 1 порядка
Б	Метод анализа желудков дает лишь «мгновенный снимок» недавнего рациона, в то время как изотопный состав тканей отражает интегрированную картину питания за длительный период (недели/месяцы)
В	Стабильные изотопы радиоактивны, что позволяет отслеживать перемещение рыб с использованием средств дистанционного мониторинга
Г	Анализ изотопов позволяет точно определить видовую принадлежность каждой съеденной жертвы

Требования к решению заданий 1.1–1.9:

- Все промежуточные и итоговые расчеты округляйте до 2 знаков после запятой, если не указано иное. Яйца считаются целыми числами (округление вниз);
- Корректное внесение результатов вычислений в бланк ответов с учетом разрядности;
- Корректное внесение ответов в соответствующие поля бланка ответов;
- Корректное внесение буквенного обозначения правильного варианта ответа в бланк ответов.

II. БОТАНИКА

Задание 2.

Рассмотрите рисунки биологических объектов, которые использует человек (таблица 1) и примеры их применения (таблица 2) и сопоставьте латинские названия объектов с их внешним видом и практическим использованием.

№	Название объекта
2.1	<i>Porphyra yezoensis</i>
2.2	<i>Claviceps purpurea</i>
2.3	<i>Penicillium camemberti</i>
2.4	<i>Cetraria islandica</i>
2.5	<i>Inonotus obliquus</i>
2.6	<i>Laminaria japonica</i>
2.7	<i>Spirulina platensis</i>
2.8	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

Таблица 1 – Внешний вид биологических объектов


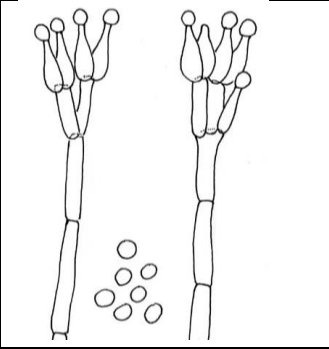


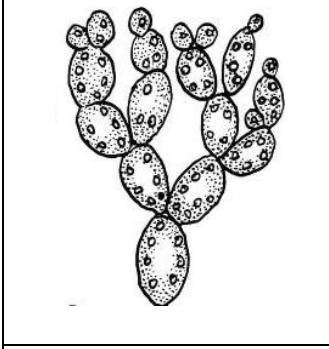
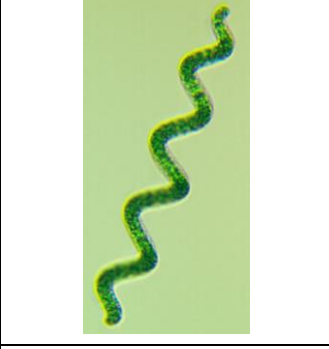










			
А	Б	В	Г
			
Д	Е	Ж	З

Таблица 2 – Примеры использования биологических объектов

			
1	2	3	4
			
5	6	7	8

Ответы запишите в соответствующие латинским названиям объектов ячейки бланка ответов в виде сочетания букв (№ биологических объектов – А, Б, В и т.д.) и цифр (№ примеров использования объектов – 1, 2, 3 и т.д.).

III. ФИЗИОЛОГИЯ И БИОТЕХНОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Задание 3.1.

На рисунке 2 продемонстрирована схема микрклонального размножения растений. Соотнесите этапы микрклонального размножения (таблица 3) и утверждения, верно характеризующие их (таблица 4). При выборе вариантов ответа учитывайте, что размножение происходит из уже существующих меристем!

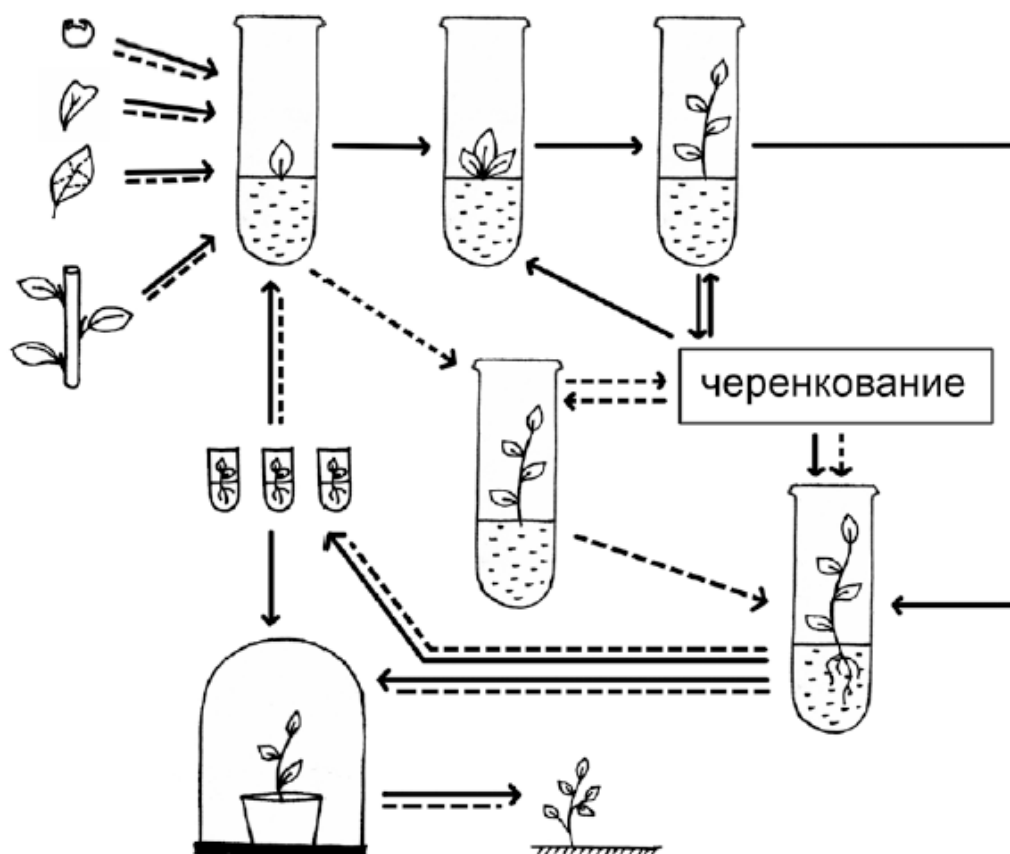


Рисунок 2 – Схема микрклонального размножения растений

Таблица 3

№	Название этапа
А	Введение в культуру <i>in vitro</i>
Б	Собственно размножение
В	Преадаптация (укоренение) микрорастений <i>in vitro</i>
Г	Адаптация микрорастений к условиям <i>ex vitro</i>

Таблица 4

№	Утверждение
1	При реализации данного этапа в питательной среде уменьшают количество углеводов
2	На данном этапе осуществляется подбор стерилизующего агента
3	Для эффективного протекания данного этапа ключевым фактором является поддержание высокой влажности
4	Оптимальные условия для реализации этапа достигаются внесением в среду фитогормонов (цитокининов и ауксинов) в определенном соотношении
5	При реализации данного этапа в питательную среду часто добавляют антибиотики
6	Обязательным этапом является формирование каллусной ткани
7	Может быть использована система искусственного туманообразования
8	На данном этапе в питательной среде уменьшают количество элементов минерального питания

Ответ запишите в виде соотношения букв и цифр в соответствующую ячейку бланка ответов. Пример записи ответа: **A1 B2 B3 Г45** и т.д.

Задание 3.2.

3.2.1. Рассчитайте, какое максимальное количество растений можно получить за год культивирования из 4 черенков, если было установлено, что растения достигают оптимального размера для последующего микрочеренкования либо для выведения в нестерильные условия *ex vitro* спустя 2 месяца и имеют коэффициент мультипликации равный 7, т.е. из одного 2-месячного микрорастения можно получить 7 микрочеренков.

3.2.2. Необходимо ли модифицировать условия культивирования, если для достижения поставленных целей данному биотехнологическому предприятию необходимо произвести 50000 растений в год?

IV. АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Задание 4.1. Выберите вариант ответа, в котором правильно перечислена последовательность сосудистых структур почки, через которые в норме проходят эритроциты за один сердечный цикл.

1. Почечная артерия – междолевая артерия – дуговая артерия – приносящая артериола – капилляры клубочка – прямой сосуд – выносящая артериола – почечная вена;

2. Почечная артерия – междолевая артерия – приносящая артериола – дуговая артерия – капилляры клубочка – выносящая артериола – перитубулярные капилляры – почечная вена;

3. Почечная артерия – междолевая артерия – дуговая артерия – приносящая артериола – капилляры клубочка – капилляры прямого сосуда – почечная вена;

4. Почечная артерия – междольковая артерия – дуговая артерия – приносящая артериола – капилляры клубочка – перитубулярные капилляры – почечная вена;

5. Почечная артерия – дуговая артерия – капилляры клубочка – приносящая артериола – капилляры прямых сосудов – почечная вена.

Задание 4.2. Какой из перечисленных ниже стимулов приведет к наибольшему снижению уровня антидиуретического гормона по сравнению с нормой.

1. Употребление 1 л гипертонического раствора NaCl;
2. Употребление 1 л гипотонического раствора NaCl;
3. Употребление 1 л изотонического раствора NaCl;
4. Употребление 1 л воды.

Задание 4.3. Выберите правильное(-ые) утверждение(-я), характеризующее(-ие) процесс экскреции калия почками.

1. Регулируется ангиотензином II и норадреналином в проксимальном канальце;
2. Повышается под влиянием альдостерона;
3. Повышается при снижении уровня калия в плазме;
4. В основном регулируется симпатическими нервами почки;
5. Обеспечивается АТФ-азой в дистальном извитом канальце.

Задание 4.4. В какой части нефрона реабсорбируется наибольшее количество профильтровавшегося натрия?

1. В проксимальном извитом канальце;
2. В дистальном извитом канальце;
3. В петле Генле;
4. В собирательной трубке.

Ответы на задания 4.1–4.4 запишите в соответствующие ячейки бланка ответов в виде цифр без знаков препинания.

V. ГЕНЕТИКА

Задание 5.

После того, как Грегор Мендель провёл свои выдающиеся опыты по скрещиванию сортов гороха, он занялся другими растениями. По просьбе своего друга-ботаника Карла фон Негели Мендель начал скрещивать ястребинки (род *Hieracium*, сем. Сложноцветные, Compositae). Работать было очень сложно: цветки ястребинок гораздо меньше, чем у гороха, плотно расположены в соцветии-корзинке. А ведь предстояло удалять в них тычинки, переносить пыльцу и затем изолировать от посещения насекомыми-опылителями! В награду за такой труд плод-боб гороха давал около 10 семян, а у ястребинок в плоде-зерновке было единственное семя. Мендель потратил титанические усилия для проведения этих опытов по скрещиванию, но результат получился обескураживающим: закономерности, открытые на горохе, совершенно не выполнялись на ястребинках! Мендель написал короткую заметку о своих опытах с ястребинками, и дал в руки оппонентов мощные аргументы против своей теории наследования признаков. Учёные на протяжении 35 лет считали, что менделевские законы наследственности верны только для гороха, а на остальных растениях они могут не выполняться.

Ястребинки оказались удивительным объектом, и обладали свойствами, о которых Мендель не мог и предполагать. Зародыши у этих растений часто образуются без участия ядер, заключенных в пыльце. Такое явление (образование зародышей без слияния мужского и женского ядра) впоследствии было названо **апомиксисом**. Оказалось, что апомиксис – широко распространенное явление в мире растений. Только у каких-то растений процент апомиктических зародышей очень маленький, тогда как у других – довольно большой. Образование зародыша обычным путём (после слияния ядер яйцеклетки и одного из спермиев) принято называть **амфимиксисом**.

Есть различные механизмы образования зародышей путём апомиксиса. Например, в одном из вариантов зародыш образуется из клетки нуцеллуса, которая не проходила мейоз. Таким образом, получается точная генетическая копия материнского растения.

Пусть в некоторой популяции растений способность к апомиксису определяется доминантным аллелем *A*. Однако растения-носители аллеля *A* всё же сохраняют способность к амфимиксису (иногда значительную!). Растения с генотипом *aa* образуют зародыши путём амфимиксиса. Кроме того, в популяции есть две цветковые формы лепестков: оранжевая, определяющаяся доминантным аллелем *T*, и жёлтая, за которую отвечает аллель *t*. Признаки способности к апомиксису и окраски не сцеплены между собой.

При переносе пыльцы с растения с жёлтой окраской венчика и не обладающего способностью к апомиксису, на рыльца растения оранжевой окраски в первом поколении получили следующие результаты:

с жёлтой окраской было только 20% растений;
80% растений были способны к апомиксису.

Дайте ответы на следующие вопросы:

5.1. Предложите генотипы родительской пары.

5.2. Сколько процентов апомиктических зародышей образуется у носителей аллеля *A*?

5.3. Какова доля среди потомков первого поколения растений, генотип которых совпадает с генотипом родительского растения-опылителя?

5.4. Оцените долю пыльцевых зёрен с разными генотипами, которые образуются у потомков первого поколения. Считайте, что пыльцевая продуктивность не зависит от генотипа растения. Выразите доли в процентах, округлив до сотых.