

I. ЭКОЛОГИЯ

Задание 1.

Озеро Кристальное, расположенное в умеренном климатическом поясе, на протяжении 30 лет подвергалось воздействию сточных вод с заброшенного целлюлозно-бумажного комбината, который использовал ртуть в качестве катализатора. Несмотря на то, что предприятие было закрыто 10 лет назад, значительное количество неорганической ртути (Hg) осело в донных отложениях. Анаэробные сульфатредуцирующие бактерии в этих отложениях метаболизируют неорганическую ртуть в высокотоксичную и биодоступную органическую форму – метилртуть (CH_3Hg^+).

Исследовательская группа провела комплексный анализ экосистемы озера для оценки уровня загрязнения и его влияния на пищевую цепь.

Исходные данные по озеру Кристальное и пищевой цепи:

Геометрия озера:

- Площадь поверхности: 5,2 км²
- Средняя глубина: 8,5 м

Событие-инцидент:

В результате весеннего паводка произошло взмучивание донных отложений, что привело к единовременному выбросу в водную толщу 1,5 кг неорганической ртути (Hg). Предполагается, что 5% этой массы было быстро преобразовано бактериями в метилртуть и равномерно распределилось в объеме воды.

Пищевая цепь и концентрации CH_3Hg^+ (усредненные, на сырой вес):

- Трофический уровень 1 (Продуценты):
Фитопланктон (концентрация в воде используется как базовый уровень).
- Трофический уровень 2 (Первичные консументы):
Дафнии (*Daphnia* s.l.) – 0,025 мг/кг.
- Трофический уровень 3 (Вторичные консументы):
Плотва (*Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758)) – 0,45 мг/кг.
- Трофический уровень 4 (Третичные консументы):
Щука (*Esox lucius* (Linnaeus, 1758)) – 3,80 мг/кг.
- Трофический уровень 5 (Высший хищник):
Скопа (*Pandion haliaetus* (Linnaeus, 1758)), птица, питающаяся почти исключительно рыбой из озера.

Дополнительные данные для расчетов:

- Средняя масса взрослой скопы: 1,6 кг.
- Суточная норма потребления пищи для скопы составляет 20% от массы ее тела.
- Основу рациона скопы составляет щука из озера Кристальное.
- Токсикологический порог: УНВОЭ (Уровень, не вызывающий видимых отрицательных эффектов) для метилртути у хищных птиц составляет 0,1 мг/кг массы тела в сутки.

Задания:

1.1 Рассчитайте начальную концентрацию метилртути (CH_3Hg^+) в воде озера (в микрограммах на литр) сразу после инцидента с паводком. ($1 \text{ км}^3 = 10^{12} \text{ л}$; $1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$).

1.2 Рассчитайте коэффициент биомагнификации (КБМ) метилртути при переходе от вторичных консументов (плотва) к третичным консументам (щука) в данной пищевой цепи.

1.3 Рассчитайте суточную дозу потребления метилртути скопой (в мг на кг массы тела в сутки), основываясь на ее рационе и данных о концентрации токсиканта в щуке.

1.4 Сравните рассчитанную вами в пункте 1.3 суточную дозу метилртути для скопы с известным значением УНВОЭ. Какое из следующих утверждений наиболее точно описывает риск для популяции скопы?

Варианты ответов на задание 1.4:

А	Риск отсутствует, так как потребляемая доза ниже уровня УНВОЭ.
Б	Риск минимален, так как потребляемая доза незначительно превышает УНВОЭ.
В	Существует значительный риск хронических токсических эффектов (например, снижение репродуктивного успеха, неврологические нарушения), так как доза существенно превышает УНВОЭ.
Г	Существует высокий риск острой летальности для взрослых особей скопы.

1.5 Недавние исследования показали, что ацидификация (понижение pH) озерных вод в результате кислотных дождей может усиливать активность сульфатредуцирующих бактерий. Какой наиболее вероятный долгосрочный эффект это окажет на экосистему озера Кристальное?

Варианты ответов на задание 1.5:

А	Ускорится процесс седиментации ртути, что снизит ее концентрацию в воде.
Б	Увеличится скорость метилирования ртути, что приведет к росту ее концентрации в организмах на всех трофических уровнях.
В	Снизится биодоступность метилртути, так как ионы H^+ будут связывать ее.
Г	Эффект будет наблюдаться только на уровне продуцентов, не влияя на высших хищников.

1.6 Почему концентрация метилртути в скопе будет значительно выше, чем в щуке, даже если учесть их массу? Этот процесс называется:

Варианты ответов на задание 1.6:

А	Биоаккумуляция, так как токсикант накапливается в течение жизни одной особи.
Б	Биомагнификация, так как токсикант концентрируется при передаче по трофическим уровням.
В	Биоремедиация, так как организм птицы очищает экосистему от ртути.
Г	Биоконцентрация, так как птица поглощает ртуть напрямую из воды через кожу

1.7 В ходе расширенного мониторинга экосистемы озера Кристальное и сравнения его с незагрязненным озером Лесное, исследовательская группа получила массивы данных, отражающие сложную трофодинамику и токсикокинетику ртути. Ниже представлены три научных визуализации, отражающих результаты соответствующих исследований (Рисунки 1–3).

Внимательно изучите графики. В каждом из заданий 1.7.1–1.7.3 выберите правильные утверждения из предложенных вариантов ответов.

1.7.1 Анализ трофической передачи метилртути.

Исследователи измерили соотношение стабильных изотопов азота ($\delta^{15}\text{N}$) в тканях различных организмов озера Кристальное. Значение $\delta^{15}\text{N}$ является надежным маркером трофического уровня: при каждом переходе на следующий уровень это значение возрастает в среднем на 3–4 ‰. Результаты сопоставлены с концентрацией метилртути в тканях организмов (Рисунок 1).

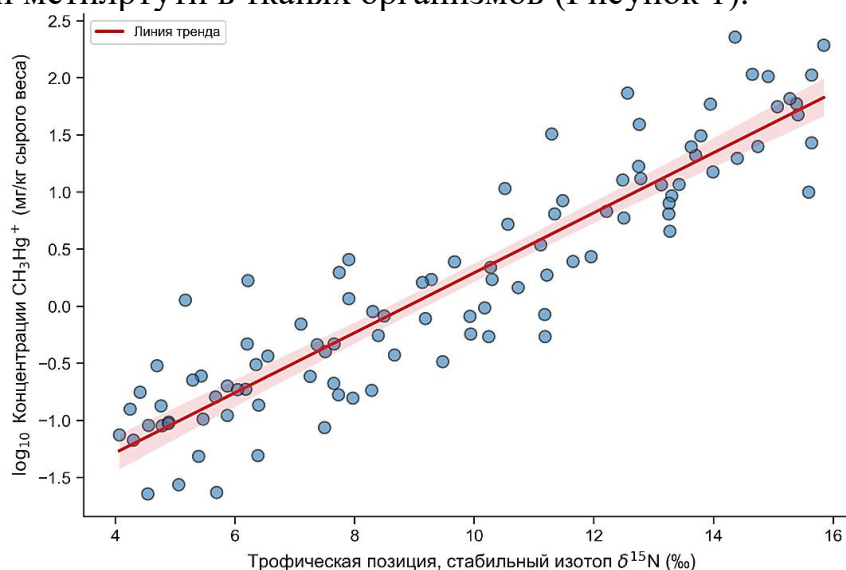


Рисунок 1 – Связь концентрации метилртути с трофической позицией

Варианты ответов на задание 1.7.1:

А	Положительный наклон линии регрессии на графике с логарифмической осью Y математически подтверждает экспоненциальный характер процесса биомагнификации метилртути в пищевой цепи озера.
Б	Фитопланктон и другие продуценты на данном графике располагались бы преимущественно в правой верхней части координатной плоскости (при $\delta^{15}\text{N} > 14$).
В	Разброс значений концентрации метилртути у организмов, находящихся на одном трофическом уровне (например, в диапазоне $\delta^{15}\text{N}$ от 9 до 11 ‰), можно объяснить индивидуальными различиями в возрасте, скорости роста и составе микрорациона (например, питанием бентосными, а не пелагическими организмами).
Г	Данный график доказывает, что изотоп азота ^{15}N обладает высоким химическим сродством к метилртути и образует с ней устойчивые комплексы в тканях рыб.
Д	Если бы в озере преобладал процесс биоразбавления (снижения концентрации токсиканта на высших уровнях), линия регрессии сохранила бы свой положительный наклон, но переместилась бы ниже по оси Y.

1.7.2 Сравнительный анализ токсикокинетики у щуки.

Для оценки влияния хронического загрязнения были взяты пробы мышечной ткани щуки (*Esox lucius*) из целевого озера Кристальное и чистого контрольного озера Лесное. Выборка была разделена на две возрастные когорты: ювенильные особи (до 2 лет) и взрослые особи (старше 5 лет). Результаты представлены в виде диаграмм размаха.

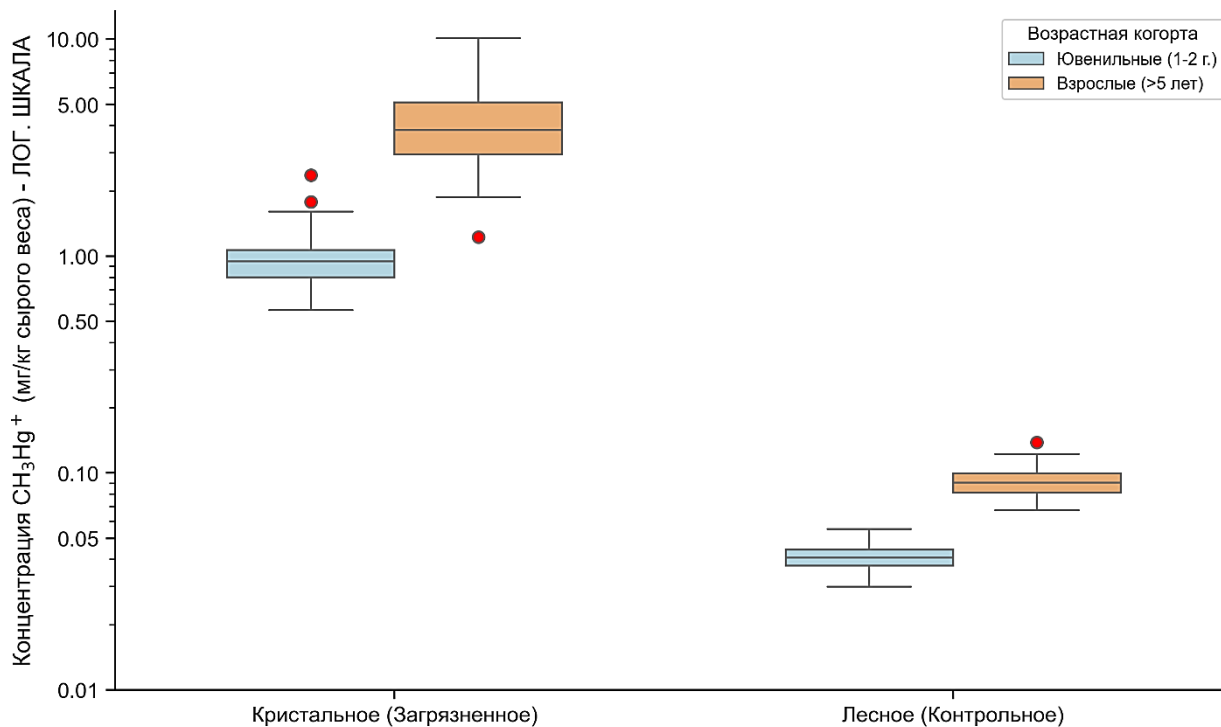


Рисунок 2 – Сравнение накопления CH_3Hg^+ у щуки разных возрастных когорт

Варианты ответов на задание 1.7.2:

А	Медианное значение концентрации метилртути у ювенильных щук из озера Кристальное ниже, чем медианное значение у взрослых щук из чистого озера Лесное.
Б	Данные по озеру Кристальное ярко иллюстрируют процесс биоаккумуляции, показывая, что внутри популяции хищника концентрация токсиканта достоверно возрастает по мере увеличения возраста (и, соответственно, продолжительности экспозиции).
В	Узкий межквартильный размах у взрослых особей в озере Лесное доказывает, что у щук этого озера выработался специфический фермент, полностью разрушающий метилртуть до безопасных соединений.
Г	Наличие “выбросов” у взрослых рыб озера Кристальное может свидетельствовать о существовании особей, полностью перешедших на питание исключительно высококонтаминированной крупной плотвой, в то время как другие особи могут питаться менее загрязненными объектами (например, лягушками или водоплавающими птицами).
Д	График демонстрирует, что в контрольном озере Лесное скорость экскреции (выведения) метилртути у щук с возрастом превышает скорость ее ассимиляции из пищи.

1.7.3 Влияние абиотических факторов на метилирование.

В развитие гипотезы из пункта 1.5, экологи собрали исторические данные по 20 различным озерам региона (включая Кристальное), имеющим схожий профиль донных отложений. Они построили зависимость между среднесезонным показателем pH воды и эффективностью метилирования (долей метилртути от общего содержания ртути в воде).

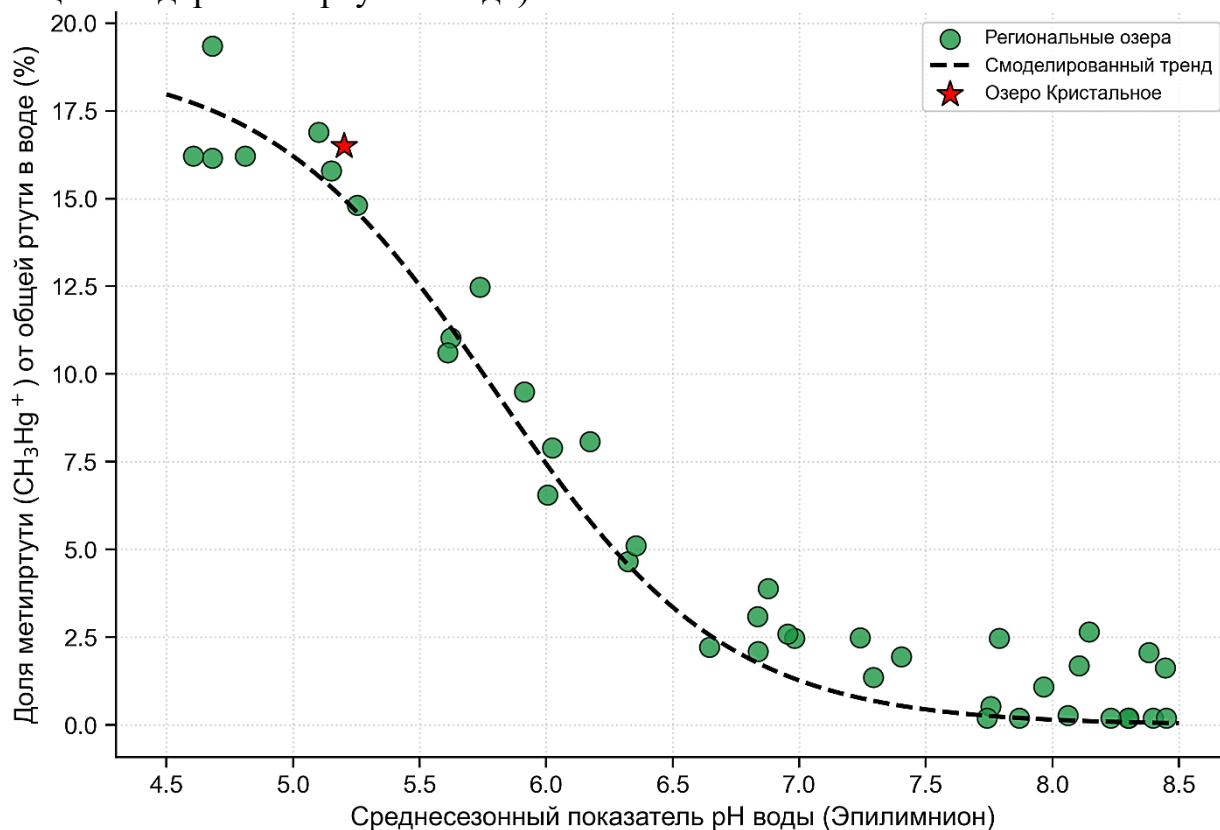


Рисунок 3 – Влияние pH воды на эффективность метилирования ртути

Варианты ответов на задание 1.7.3:

А	Между показателем активной реакции среды (pH) и эффективностью трансформации неорганической ртути в метилртуть наблюдается сильная прямая (положительная) корреляция.
Б	При сильном защелачивании водоемов (pH>8,0) активность сульфатредуцирующих бактерий, производящих метилртуть, судя по всему, полностью подавляется или критически снижается.
В	Графические данные полностью подтверждают гипотезу о том, что дальнейшая ацидификация (закисление) озера Кристальное кислотными дождями приведет к резкому скачку концентрации биодоступной метилртути.
Г	Точка перегиба кривой доказывает, что при pH=7,0 метилртуть самопроизвольно распадается на чистую ртуть и метан под воздействием солнечного света.
Д	В условиях нейтральной среды (pH=7,0) бактерии конвертируют ровно половину всей доступной неорганической ртути в органическую форму.

II. БОТАНИКА

Задание 2.1.

Рассмотрите рисунки спор хвоща полевого (*Equisetum arvense*; Рисунок 4) и ответьте на ниже представленные вопросы. **Ответы** запишите в соответствующие ячейки бланка ответов.



Рисунок 4 – Внешний вид спор хвоща полевого (*Equisetum arvense*) в различном состоянии

2.1.1 На каком поколении жизненного цикла хвоща полевого образовались споры?

2.1.2 Что развивается из спор хвоща полевого?

2.1.3 В результате какого деления образовались споры у хвоща полевого?

2.1.4 Укажите ploидность спор.

2.1.5 На каком рисунке (А или Б) отображены споры во влажном состоянии?

2.1.6 К каким растениям принадлежит хвощ полевой?

А	Морфологически разноспоровые.
Б	Физиологически равноспоровые.
В	Физиологически разноспоровые.
Г	Морфологически равноспоровые.

Задание 2.2.

Рассмотрите рисунок части поперечного среза стебля однодольного многолетнего травянистого растения из рода Рдест (*Potamogeton*) и ответьте на следующие вопросы:

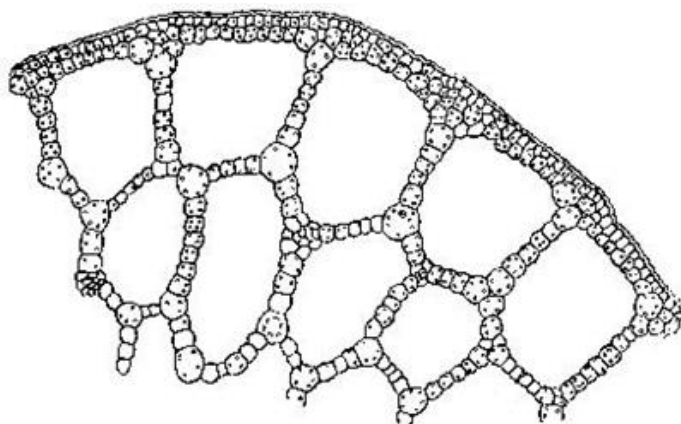


Рисунок 5 – Поперечный срез стебля рдеста

2.2.1 Какая часть стебля (топографическая зона) данного растения преобладает на рисунке?

2.2.2 Назовите тип стели, характерной для данного растения.













2.2.3 Способен ли стебель рдеста ко вторичному утолщению?

III. ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

Задание 3.

В таблице 1 представлены фотографии различных фотосинтезирующих организмов, рассмотрите их и ответьте на вопросы, расположенные под таблицей.

Таблица 1

1 – <i>Hylocereus</i> 	2 – <i>Fucus</i> 	3 – <i>Anabaena</i> 
4 – <i>Euglena</i> 	5 – <i>Coleus</i> 	6 – <i>Ananas</i> 
7 – <i>Cryptomonas</i> 	8 – <i>Sphagnum</i> 	9 – <i>Phyllophora</i> 
10 – <i>Phalaenopsis</i> 	11 – <i>Spirogyra</i> 	12 – <i>Laminaria</i> 

3.1 Для каких их представленных фотосинтезирующих организмов характерно наличие фикобилипротеинов?

3.2 У каких видов присутствуют хлорофиллы c_1 и c_2 ?

3.3 Кто из представленных высших растений обладает САМ-метаболизмом?

Ответы запишите в виде соответствующих фотосинтетическим организмам номеров (1–12).

IV. АНАТОМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА

Задание 4.

Рассмотрите Рисунок 6 и ответьте на следующие вопросы:

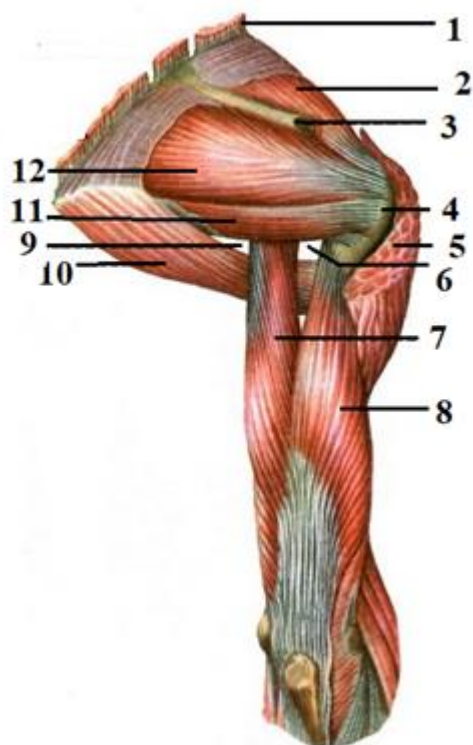


Рисунок 6

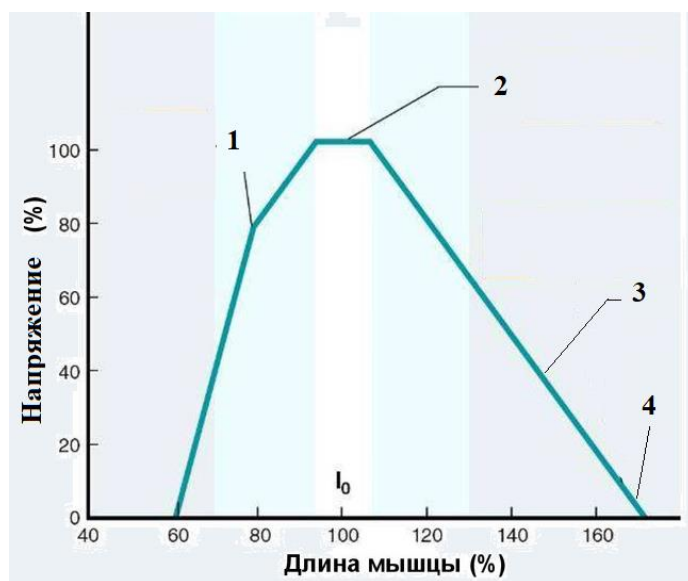


Рисунок 7

4.1 Какие мышцы изображены на рисунке?

1. Мышцы бедра и тазового пояса;
2. Мышцы плеча и плечевого пояса;
3. Мышцы бедра и голени;
4. Мышцы плеча и предплечья.

4.2 В каких процессах участвуют мышцы под номером 2 и 5?

1. Отведении бедра;
2. Разгибании бедра;
3. Разгибании плеча;
4. Отведении плеча;
5. Сгибании плеча;
6. Сгибании бедра.

4.3 Какие мышцы являются антагонистами?

1. 6 и 12;
2. 7 и 6;
3. 12 и 5;
4. 12 и 2;
5. 10 и 11.

4.4 Рассмотрите график на Рисунке 7. Какая точка на графике соответствует совершению наименьшей работы мышцей?

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

V. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА

Задание 5.

Перед вами представлено выравнивание аминокислотных последовательностей одного и того же белка для бактерий *Affinibrenneria salicis*, *Brenneria roseae*, *Burkholderia anthina*, *Escherichia coli*, *Pectobacterium brasiliense*, *Pectobacterium polaris*, *Pectobacterium versatile* и *Pseudomonas alcaligenes*.

<i>Escherichia coli</i>	MRSASHWQAVLTGRRVPPQEARWQQWYQQYRHHWWAWWQVENLRCTMNSGNPNASLQTT	60
<i>Affinibrenneria salicis</i>	MHAAAEWYAVLYDENCSDDRRRWRRLNQHEDHQRAWQVEQIHARLHAVDGRGLASSVL	60
<i>Pectobacterium brasiliense</i>	MHAAAEWYATLYDEECTEFERQAWRQWLGRDETHRQAWQVEQIHARFHAVDKQLASSVL	60
<i>Pectobacterium versatile</i>	MYAASEWYATLYDEDCSELERQAWQRWLHQDDTHRLAWQVEQIHARFHAVDSQLASSVL	60
<i>Brenneria roseae</i>	MHAAAEWYATLYDEDCSEHERQAWQRWLHQDDTHRLAWQVEQIHARFHAVDSQLASSVL	60
<i>Pectobacterium polaris</i>	MHAAAEWYATLYDEDCSEHERQAWQRWLHQDDTHRLAWQVEQIHARFHAVDSQLASSVL	60
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	MQQAADWFALLRDERVSELDQAWQRWLDAQPQHRQAWLRVESISGQFERLPQRQARSAL	60
<i>Burkholderia anthina</i>	MEQAANWYALLHADGGSSEHRAAWQWLAERPEHRAWAHVEAVSRRFAPLRGESRVHVS	60
	* :.* * * .. * :* * ** :** : : . .	

<i>Escherichia coli</i>	NETRLTRRHVLKGLLILACAGSGSWSRADYRTAKGQIQRQKLDQGTLLSLNTDSAR-VIQ	119
<i>Affinibrenneria salicis</i>	NRRGRERRRMLKLLALVAVSGGVGSAADYRTATGETRELRIADGLTVMNNTDSALRTIG	120
<i>Pectobacterium brasiliense</i>	NKRGADRRRILKLLAIAGVTGGVGFSAADYRTGTGETRELAIANGLTVWLNNTDSALQRVT	120
<i>Pectobacterium versatile</i>	SKRGGERRRMLKLLAIASLTGGVGFSAADYHTGTGETRELNIETGMTVWLNNTDSALQRVT	120
<i>Brenneria roseae</i>	SKRGGERRRMLKLLAIASLTGGVGFSAADYHTGTGETRELNIETGMTVWLNNTDSALQRVT	120
<i>Pectobacterium polaris</i>	SKRGGERRRMLKLLAIASLTGGVGFSAADYHTGTGETRELNIETGMTVWLNNTDSALQRVT	120
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	QARGVERRQALKALSVVAGVLLGLGQASQRTAVGEVRGSQLADGSRLLWLNNTDSALQSLV	120
<i>Burkholderia anthina</i>	ATRSASRRHVLGSLAALAGTGLAGWLRSDYRTGVGERRDVQLADGTRVWLNNTDSAFEIVS	120
	** : * * . * * : . : * . * : : * : : ***** :	

<i>Escherichia coli</i>	QGEMLVFSASQFGHVQPLNNEASWTSQGVLSFSDKPLEDVIITLRSYRPGILRCDPAIAG	179
<i>Affinibrenneria salicis</i>	AGQQVAFDQTCRAPGAVEPFRQSWRAGVLVADNMRLDQLLAEFARYHTGYFRVESQVAG	180
<i>Pectobacterium brasiliense</i>	AGQQVAFTRDRCDAPVPVDFRQSWRSGVLVADNMPLIQLIDEVSRYHHGYFHVSKQVAG	180
<i>Pectobacterium versatile</i>	AGQQVIFTRDRSSEPAPVENFRQSWRKGQLVADNMPLGQFVNEIARYHNGYFHVDSAVTT	180
<i>Brenneria roseae</i>	AGQQVIFTRDRSSEPAPVENFRQSWRKGQLVADNMPLGQLVNEIARYHNGYFHVDSAVTM	180
<i>Pectobacterium polaris</i>	AGQQVIFTRDRSSEPAPVENFRQSWRKGQLVADNMPLGQFVTEIARYHNGYFHVDSAVTM	180
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	AGQEAYFDAQWVDRPAPLRQGQAWTHGILQADDMPLGQFIAELSRYQHGLGC DPRVAD	180
<i>Burkholderia anthina</i>	AGQQRQFTADTIDAPERADPAREAWSRGVILADDVALGVLIAELDRYQHGHIGVDPVAVAG	180
	* : * : * * : : . : * . : ** : * : . : :	

<i>Escherichia coli</i>	LRLTGTFFPLGNTDAVLNAIAKTLPVKIQFVTRYWVTLSP	219
<i>Affinibrenneria salicis</i>	LRISGVFPLYETERFLAALARTLPVRNRRFAWWVDIGPR	220
<i>Pectobacterium brasiliense</i>	LRISGVFPLHERDRLLEALVRTLPKVTKRFAWWIDISSR	220
<i>Pectobacterium versatile</i>	LRISGVFPLHETDRLLLEAVARTLPVKVTRRFSAWWVDIRPS	220
<i>Brenneria roseae</i>	LRISGVFPLHETDRLLLEAVARTLPVKVTRRFSAWWVDIRPS	220
<i>Pectobacterium polaris</i>	LRISGVFPLHETDRLLLEAVARTLPVKVTRRFSAWWVDIRPS	220
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	LRLVGAFPLAEPERIIYAALASLPVVRVRLPWVVISIEPG	220
<i>Burkholderia anthina</i>	IRVVGFRPADDPDRMLAMLERDLPVRRRLPWVVISIEAR	220
	:* : * ** : : . : ** : : : * : :	

5.1 Сравните последовательности и рассчитайте генетические дистанции между этими последовательностями. В качестве **ответа** на задание внесите в соответствующие ячейки бланка ответов дистанции для пар последовательностей, отмеченных в **таблице 2** красными буквами **А, Б, В** и т.д.

5.2 На основании полученных дистанций дополните филогенетическое дерево (Рисунок 8), указав, какие виды располагаются под номерами **3, 4, 5** и **8**.

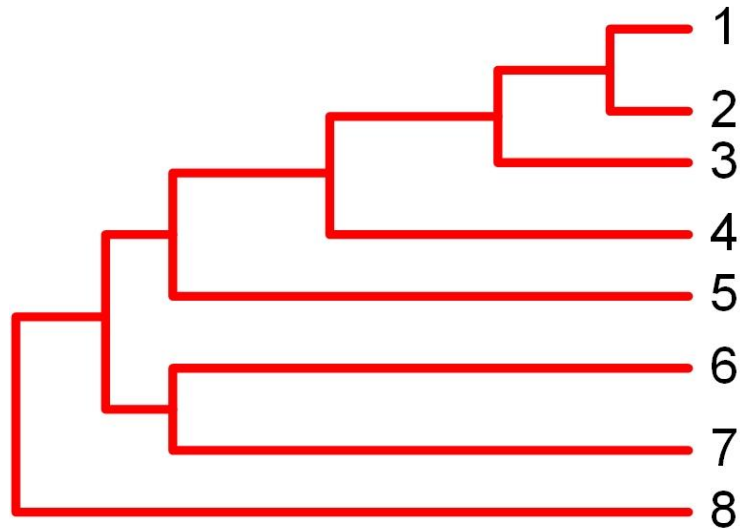


Рисунок 8 – Филогенетическое дерево

Седьмая дистанционная учебная смена по учебному предмету «Биология»
2025–2026 учебный год

Таблица 2

	<i>Affinibrenneria salicis</i>	<i>Brenneria roseae</i>	<i>Burkholderia anthina</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pectobacterium brasiliense</i>	<i>Pectobacterium polaris</i>	<i>Pectobacterium versatile</i>	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>
<i>Affinibrenneria salicis</i>	0		А		Б			
<i>Brenneria roseae</i>	-	0		В			Г	
<i>Burkholderia anthina</i>	-	-	0			Д		Е
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	0			Ж	
<i>Pectobacterium brasiliense</i>	-	-	-	-	0			З
<i>Pectobacterium polaris</i>	-	-	-	-	-	0		
<i>Pectobacterium versatile</i>	-	-	-	-	-	-	0	
<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	-	-	-	-	-	-	-	0

Таблица 3 – Классификация использованных в выравнивании организмов

Домен	<i>Bacteria</i>					
Отдел	<i>Proteobacteria</i>					
Класс	<i>Gamma</i> proteobacteria					<i>Beta</i> proteobacteria
Порядок	<i>Enterobacteriales</i>				<i>Pseudomonadales</i>	<i>Burkholderiales</i>
Семейство	<i>Pectobacteriaceae</i>			<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Pseudomonadaceae</i>	<i>Burkholderiaceae</i>
Род	<i>Affinibrenneria</i>	<i>Brenneria</i>	<i>Pectobacterium</i>	<i>Escherichia</i>	<i>Pseudomonas alcaligenes</i>	<i>Burkholderia</i>
Вид	<i>A. salicis</i>	<i>B. roseae</i>	<i>P. brasiliense</i> , <i>P. polaris</i> , <i>P. versatile</i>	<i>E. coli</i>	<i>P. alcaligenes</i>	<i>B. anthina</i>