

Урок 1. Биология как наука

Живые системы и методология эксперимента

Теория

Содержание урока

01. Опыт Джеймса Линда: логика сравнения
02. Биология как система наук
03. Что отличает живую систему
04. Уровни организации живой природы
05. Методы биологии: способ получить данные
06. Научный метод: не ритуал, а цикл проверки
07. Переменные: что меняем, что измеряем, что удерживаем
08. Контрольные группы: с чем сравнивается эффект
09. Нулевая гипотеза и вывод
10. Повторности, выборка и воспроизводимость
11. Как читать таблицы, графики и диаграммы
12. Алгоритмы заданий ЕГЭ по эксперименту

01. Опыт Джеймса Линда: логика сравнения

В XVIII веке цинга убивала моряков во время дальних плаваний. Причину болезни ещё не знали. Врачи назначали уксус, морскую воду, сидр, лекарства и разные диеты — и каждый мог рассказать историю о пациенте, которому будто бы стало лучше. История отдельного выздоровления звучит убедительно, но не отвечает на главный вопрос: помогло лечение или человек поправился бы и без него?

В 1747 году корабельный врач Джеймс Линд отобрал двенадцать моряков с похожими симптомами, разместил их в сходных условиях и разделил на шесть пар. Каждая пара получала своё дополнение к рациону. У моряков, получавших цитрусовые, состояние быстро улучшилось. Это был маленький и по современным меркам несовершенный опыт, но его логика важна: сходные исходные условия, различающееся воздействие и сравнение результата.

02. Биология как система наук

Биология изучает живые системы, их строение, жизнедеятельность, происхождение, развитие, разнообразие и связи со средой. Слово «система» здесь принципиально: клетка, организм или экосистема состоят из частей, но свойства целого не сводятся к простому перечню частей. Сердце вне организма можно описать анатомически, однако регуляция кровообращения возникает только во взаимодействии сердца, сосудов, нервной и эндокринной систем.

Наука	Что изучает	Пример вопроса
Ботаника	Растения	Как строение листа связано с освещением?
Зоология	Животных	Как питание связано со строением органов?
Микология	Грибы	Какие условия ускоряют рост мицелия?
Микробиология	Микроорганизмы	Как температура влияет на бактерии?
Вирусология	Вирусы	Как вирус взаимодействует с клеткой хозяина?
Цитология	Клетки	Как вещество изменяет работу клетки?
Гистология	Ткани	Как строение ткани обеспечивает функцию?
Анатомия	Строение организмов и органов	Как устроена система органов?
Физиология	Функции и жизнедеятельность	Как регулируется частота дыхания?
Генетика	Наследственность и изменчивость	Как наследуется признак?
Эмбриология	Индивидуальное, прежде всего зародышевое, развитие	Как формируются ткани зародыша?
Палеонтология	Ископаемые организмы и историю жизни	Как менялась группа во времени?
Эволюционная биология	Закономерности исторического развития живого	Какие факторы ведут к адаптации?
Экология	Связи организмов между собой и со средой	Как вид влияет на сообщество?
Систематика	Разнообразие, родство и классификацию	Какие признаки объединяют таксоны?
Молекулярная биология	Молекулярные механизмы хранения и реализации информации	Как работает ген?
Биохимия	Химический состав и реакции в живых системах	Как фермент ускоряет реакцию?
Селекция	Методы создания сортов, пород и штаммов	Как закрепить полезный признак?
Биотехнология	Использование организмов, клеток и биопроцессов	Как получить продукт с помощью микроорганизмов?

70+ · Основное

Биология — комплекс наук о живых системах, их строении, жизнедеятельности, происхождении, развитии, разнообразии и связях со средой. Науку определяют по объекту и вопросу исследования.

Современное исследование часто находится на пересечении дисциплин. Если учёный изучает, как мутация бактериального гена меняет устойчивость к антибиотику, он одновременно использует генетику, микробиологию и молекулярную биологию. На экзамене поэтому не всегда ищут единственное «красивое» название науки; нужно выделить объект, уровень и исследуемый процесс.

Ключевые учёные и вклад в биологию

Учёный	Ключевой вклад
М. Шлейден	Показал клеточное строение растений; участвовал в формировании клеточной теории.
Т. Шванн	Распространил клеточный принцип на животных и сформулировал положения клеточной теории.
Р. Вирхов	Обосновал положение: новые клетки возникают только из предшествующих клеток.
Г. Мендель	Открыл основные закономерности наследования признаков.
Н. И. Вавилов	Сформулировал закон гомологических рядов; выделил центры происхождения культурных растений.
В. И. Вернадский	Развил учение о биосфере и роли живого вещества в круговоротах.
Л. Пастер	Опроверг самозарождение микроорганизмов; развил микробиологию, вакцинацию и пастеризацию.
И. И. Мечников	Открыл фагоцитоз и развил клеточную теорию иммунитета.

Значение биологии и профессии

Направление	Примеры значения биологии
Медицина	Диагностика, профилактика, лечение, разработка лекарств и вакцин.
Сельское хозяйство	Селекция, защита растений и животных, повышение урожайности и продуктивности.
Промышленность	Ферменты, антибиотики, пищевые продукты, биотехнологические производства и очистка отходов.
Охрана природы	Мониторинг, сохранение биоразнообразия, восстановление экосистем и научное обоснование охранных мер.

Профессии: врач, генетик, биотехнолог, агроном-селекционер, эколог, микробиолог. В каждом случае биологические знания используются для постановки диагноза, выбора технологии, создания нового объекта или оценки состояния природной системы.

03. Что отличает живую систему

У живого нет одного универсального внешнего признака. Кристалл растёт, огонь распространяется и расходует топливо, компьютер хранит информацию. Живую систему распознают по совокупности взаимосвязанных свойств и по способу их организации.

Живые системы обмениваются веществами и энергией со средой, поддерживают внутренние условия, отвечают на воздействия, растут, развиваются и размножаются. Наследственность обеспечивает преемственность признаков, изменчивость создаёт различия; популяции способны к эволюции.

Рабочее определение жизни

Единственного исчерпывающего определения жизни нет. Для школьного курса удобно: жизнь — форма существования открытых, саморегулирующихся и самовоспроизводящихся систем, которым свойственны обмен веществ и энергии, наследственность, изменчивость, рост, развитие и способность к эволюции.

Единство химического состава, сложность и упорядоченность

Организмы разных групп построены из общих классов веществ и химических элементов: воды, минеральных солей, белков, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот; особенно велика роль С, Н, О и N. Единство химического состава указывает на общность организации живого. При этом живые системы сложны и упорядоченны: их части расположены и взаимодействуют не случайно.

70+ · Основное

Единство химического состава — общность основных веществ и элементов живых систем. Сложность и упорядоченность — закономерная организация взаимосвязанных частей на разных уровнях.

Открытость, обмен веществ и энергии

Живые системы открыты: обмениваются со средой веществом, энергией и информацией. Растение поглощает воду, минеральные ионы и углекислый газ, использует световую энергию для фотосинтеза, а также поглощает кислород для дыхания. Животное получает органические вещества и кислород. Обмен веществ объединяет поступление, превращение и удаление веществ с преобразованием энергии.

Самоорганизация, саморегуляция и гомеостаз

Самоорганизация — возникновение и поддержание упорядоченных структур за счёт взаимодействия частей системы: например, сборка мембраны или формирование тканей при развитии. Саморегуляция — изменение работы системы для удержания параметров в допустимых пределах. Гомеостаз — поддерживаемое таким образом динамическое постоянство внутренней среды. Термины связаны, но не взаимозаменяемы.

Учащение дыхания во время бега поддерживает гомеостаз: изменение работы органов компенсирует возросший расход O_2 и образование CO_2 и помогает удерживать параметры внутренней среды.

Размножение, наследственность и изменчивость

Размножение обеспечивает непрерывность жизни в ряду поколений. Наследственность сохраняет особенности организации, а изменчивость создаёт различия. Способность размножаться не обязательна для каждой отдельной особи: мул — живой организм, хотя обычно стерил.

Рост, развитие, раздражимость, ритмичность и эволюция

Рост — количественное увеличение размеров и массы; развитие — качественные изменения строения и функций. Раздражимость — восприятие воздействия и ответ на него. Многие процессы ритмичны. Живое дискретно и одновременно целостно: состоит из частей, связи между которыми создают свойства целого. Наследственная изменчивость популяций делает возможной эволюцию.

80+ · Системный вывод

Перечень нужно видеть как систему: единство химического состава и упорядоченность описывают основу организации; самоорганизация создаёт порядок; саморегуляция поддерживает рабочие параметры; наследственность, изменчивость и размножение обеспечивают преемственность и эволюцию.

90+ · Пограничный случай: вирусы

Вирус — облигатный внутриклеточный паразит. Он содержит наследственный материал — либо ДНК, либо РНК — и обладает наследственностью и изменчивостью.

Собственного обмена веществ у вируса нет ни вне, ни внутри клетки; нет собственных рибосом и самостоятельного аппарата размножения. В клетке хозяина образование вирусных компонентов идёт с использованием её ферментов, рибосом, веществ и энергии.

04. Уровни организации живой природы

Уровень организации — не просто размер объекта. Это способ объединения элементов и круг закономерностей, которые становятся заметны на этом уровне. Молекула ДНК подчиняется химическим законам, но наследование признаков организма нельзя объяснить, рассматривая одну молекулу вне клетки, развития и среды.

Уровни организации от меньшего к большему: молекулярный → клеточный → тканевый → органнй → организменный → популяционно-видовой → экосистемный (биогеоценотический) → биосферный.

Уровень	Объекты	Процессы и примеры
Молекулярный	ДНК, РНК, белки, АТФ	Хранение информации, реакции, работа ферментов.
Клеточный	Клетки одноклеточных и многоклеточных	Деление, транспорт, клеточный обмен.
Тканевый	Ткани	Связь строения ткани с функцией.
Органнй	Органы	Работа листа, почки, сердца и других органов.

Уровень	Объекты	Процессы и примеры
Организменный	Отдельный организм	Онтогенез, поведение, физиологическая регуляция.
Популяционно-видовой	Популяции и виды	Численность, частоты аллелей, отбор, видообразование.
Экосистемный (биогеоценотический)	Сообщество и абиотическая среда	Пищевые связи, круговорот веществ, поток энергии.
Биосферный	Совокупность экосистем Земли	Глобальные круговороты и роль живого вещества.

70+ · Основное

Основная последовательность: молекулярный → клеточный → тканевый → органный → организменный → популяционно-видовой → экосистемный (биогеоценотический) → биосферный. Органоиды и процессы внутри них рассматривают в рамках клеточного уровня.

Уровни могут пересекаться в условии. Фотосинтез можно изучать на молекулярном уровне как перенос электронов, на клеточном — как работу хлоропласта, на организменном — как образование органических веществ растением, на экосистемном — как вход энергии в пищевую сеть. На экзамене уровень определяют по тому, какой объект и закономерность являются центром вопроса.

05. Методы биологии: способ получить данные

Общенаучные методы — наблюдение, описание, сравнение, измерение, эксперимент, моделирование — применяются в разных науках. Частные методы биологии работают с особыми объектами и процедурами: например, микроскопия. Поэтому формулировка «использовали микроскопию (микроскопирование)» корректна, когда спрашивают частный метод. Если требуется общенаучный метод, нужно указать действие: наблюдали, описывали, сравнивали или проводили эксперимент.

Метод (тип)	Суть	Ограничение или назначение
Наблюдение (общенаучный)	Фиксация явления без целенаправленного изменения условий.	Связь ещё не доказывает причину.
Описание (общенаучный)	Фиксация признаков словами, рисунком, фотографией, числом.	Нужны единые критерии.
Сравнение (общенаучный)	Сопоставление объектов по одинаковым признакам.	Объекты должны быть сопоставимы.
Измерение (общенаучный)	Получение количественного значения с единицей.	Нужны калибровка и повторные измерения.
Эксперимент (общенаучный)	Изменение фактора и регистрация ответа.	Нужен корректный контроль остальных условий.
Моделирование (общенаучный)	Исследование упрощённого представления системы.	Модель имеет границы применимости.

Метод (тип)	Суть	Ограничение или назначение
Исторический метод	Реконструкция изменений по современным и ископаемым данным.	Опирается на совокупность свидетельств.
Систематизация	Упорядочивание объектов и данных по выбранным признакам и правилам.	Результат зависит от критериев.
Метаанализ	Количественное объединение результатов нескольких сопоставимых исследований.	Нельзя механически объединять несопоставимые работы.
Микроскопия (частный метод)	Изучение малых объектов с помощью микроскопа.	Способ подготовки препарата может влиять на картину.
Статистический тест	Формальная процедура оценки, согласуются ли данные с нулевой гипотезой.	Не исправляет плохой дизайн и не доказывает механизм.

70+ · Основное

Прибор не заменяет название действия. «Микроскопия» — корректный частный метод; наблюдение, описание, сравнение и эксперимент — общенаучные методы.

Систематизация упорядочивает данные; метаанализ объединяет численные результаты сопоставимых исследований; статистический тест оценивает данные относительно нулевой гипотезы, но не устраняет ошибки постановки опыта.

Наблюдательное исследование и естественный эксперимент

В полевых исследованиях невозможно или недопустимо назначать все воздействия. Нельзя случайно распределить города по уровню загрязнения или намеренно устроить засуху в заповеднике. Тогда исследователь сравнивает уже существующие различия. Такой дизайн способен обнаружить закономерность, но особенно уязвим для смешивающих факторов.

Иногда природа или решение общества создаёт изменение, похожее на эксперимент: на части территории прекращают выпас, после урагана одни участки повреждены сильнее, в одном районе вводят природоохранную меру. Исследователь сравнивает состояние до и после, затронутые и незатронутые участки. Это называют естественным экспериментом. Причинный вывод сильнее простой корреляции, если группы были сопоставимы до события и не различались другими изменениями, но контроль всё равно слабее случайного назначения воздействия.

80+ · Сравните три дизайна

Наблюдение: фиксируем, что уровень загрязнения и повреждение листьев связаны.

Естественный эксперимент: сравниваем повреждение до и после закрытия источника выбросов с похожим контрольным районом.

Контролируемый эксперимент: выращиваем сопоставимые растения при заданных концентрациях загрязнителя и одинаковых остальных условиях.

Моделирование: сильное упрощение с явными границами

Модель сохраняет свойства, существенные для конкретного вопроса, и отбрасывает остальные. Пластиковая модель сердца показывает расположение камер, но не воспроизводит регуляцию сокращений. Схема пищевой сети показывает направление связей, но не обязательно их силу. Компьютерная модель популяции позволяет быстро менять рождаемость и смертность, однако результат зависит от заложенных правил.

Тип модели	Что удобно изучать	Ограничение
Материальная	Форму, взаимное расположение, движение частей.	Материал и масштаб отличаются от реального объекта.
Графическая/концептуальная	Связи, этапы, причинную структуру.	Стрелка показывает выбранную связь, но не доказывает её и не задаёт силу.
Математическая	Количественную зависимость и прогноз.	Уравнение верно только при принятых допущениях и диапазоне параметров.
Компьютерная	Поведение сложной системы при множестве сценариев.	Реалистичный вид результата не гарантирует реалистичность исходных правил.
Модельный организм	Механизм, который трудно изучать у человека или редкого вида.	Сходство процессов не означает полного совпадения видов.

70+ · Основное

Модель — упрощённое представление объекта, процесса или системы, используемое для описания, объяснения и прогноза. Модель оценивают по тому, отвечает ли она на поставленный вопрос и известны ли границы её применимости.

Модель проверяют на новых, независимых данных: её предсказания сопоставляют с наблюдениями и уточняют границы применимости.

06. Научный метод: не ритуал, а цикл проверки

Наблюдение → вопрос → гипотеза → проверяемое предсказание → планирование и проведение эксперимента → сбор и анализ данных → вывод. Новые данные могут потребовать уточнения гипотезы и повторной проверки.

Наблюдение становится научной задачей, когда из него выделяют вопрос, допускающий проверку. Гипотеза предлагает объяснение. Из гипотезы выводят конкретное предсказание: что именно должно отличаться в данных, если объяснение верно. Эксперимент проверяет предсказание, а вывод показывает, согласуются ли данные с гипотезой.

Элемент	Хорошая формулировка	Слабая формулировка
Вопрос	Как концентрация соли влияет на долю проросших семян редиса за 5 суток?	Что будет с семенами?
Гипотеза	Повышение концентрации соли снижает долю проросших семян.	Соль влияет на растения.

Элемент	Хорошая формулировка	Слабая формулировка
Предсказание	В чашках с большей концентрацией соли доля проросших семян будет ниже, чем в воде без соли.	Наверное, семян станет меньше.
Вывод	В условиях опыта доля проросших семян снижалась с ростом концентрации соли; данные согласуются с гипотезой.	Гипотеза доказана навсегда.

80+ · Ключевое различие

Гипотеза — предполагаемое объяснение или связь. Предсказание — ожидаемый наблюдаемый результат конкретной проверки. Вывод — ответ, ограниченный полученными данными и условиями опыта.

90+ · Фальсифицируемость

Научная гипотеза должна допускать результат, который с ней не согласуется. Утверждение «растения чувствуют некую энергию, которую нельзя измерить и которая проявляется только иногда» невозможно строго проверить, пока не заданы наблюдаемые признаки и условия.

07. Переменные: что меняем, что измеряем, что удерживаем

Переменная	Роль в опыте	Пример: полив и рост
Независимая	Её изменяет исследователь	Объём воды за сутки
Зависимая	Её измеряют	Высота проростка через 14 суток
Контролируемые условия	Их поддерживают одинаковыми	Сорт, возраст, почва, свет, температура

Независимая и зависимая переменные

Независимая переменная — фактор, который исследователь целенаправленно изменяет или по значениям которого формирует группы. Зависимая переменная — измеряемый ответ системы. В опыте с концентрацией соли независима концентрация раствора, а зависима доля проросших семян. Время проращивания, температура, сорт, число семян и объём раствора нужно удерживать одинаковыми.

Независимая переменная - фактор, который изменяет исследователь. Зависимая переменная - измеряемый результат воздействия. Контролируемые условия сохраняют одинаковыми для сравниваемых групп.

Не определяйте переменную по оси графика механически. Обычно независимая величина стоит по горизонтали, а зависимая — по вертикали, но решает устройство исследования. В наблюдательной работе возраст дерева никто не «задаёт», однако группы могут сравнивать по возрасту как по объясняющему фактору.

Смешивающий фактор

Смешивающий фактор одновременно связан с предполагаемой причиной и способен влиять на результат. Если растения под красными лампами стояли при 28 °С, а под синими — при 20 °С, различие роста нельзя однозначно приписать спектру. Температура смешана с цветом света.

80+ · Проверка чистоты сравнения

Задайте вопрос: «Кроме исследуемого фактора, чем ещё систематически различаются группы?» Если найденное различие способно изменить зависимую переменную, это смешивающий фактор.

08. Контрольные группы: с чем сравнивается эффект

Группа	Назначение
Отрицательный контроль	Без исследуемого воздействия; показывает фон и влияние остальных процедур.
Опытная группа	Получает исследуемое воздействие.
Положительный контроль	Получает воздействие с известным эффектом; проверяет работоспособность методики.

Отрицательный контроль

Отрицательный контроль не получает исследуемого воздействия, но проходит те же процедуры. Если растительный экстракт растворяли в спирте и наносили на бумажный диск, контрольный диск должен содержать такой же объём спирта без экстракта. Иначе эффект нельзя отделить от действия растворителя и самой процедуры нанесения.

70+ · Основное

Отрицательный контроль — группа без исследуемого фактора, которая в остальных отношениях проходит те же процедуры. Он показывает фоновый результат и позволяет связать различие именно с воздействием.

Положительный контроль

Положительный контроль получает известное воздействие, которое должно вызвать регистрируемый ответ. В тесте антибактериального экстракта таким контролем может быть диск с известным антибиотиком. Если зона подавления не появилась даже вокруг него, проблема может быть в культуре, среде, дозировке или способе измерения; отрицательный результат нового экстракта нельзя уверенно интерпретировать.

80+ · Не путать

Отрицательный контроль отвечает: «Что произойдёт без исследуемого воздействия?» Положительный: «Способна ли система и методика вообще показать ожидаемый эффект?» Контрольная группа не обязана быть только одна.

Плацебо и ослепление

В исследованиях с человеком ожидание участника и оценщика может изменить субъективный результат. Плацебо имитирует процедуру без действующего компонента, а ослепление скрывает распределение по группам. Эти приёмы не тождественны отрицательному контролю, но служат той же логике: убрать систематическое различие, кроме изучаемого воздействия.

09. Нулевая гипотеза и вывод

Нулевая гипотеза формулирует отсутствие зависимости или различия. Она не утверждает, что эффекта «точно нет». Это рабочая позиция для проверки: наблюдаемое различие может возникнуть случайно, если в генеральной совокупности воздействия нет.

Нулевая гипотеза предполагает отсутствие изучаемого эффекта или различий между группами. Её проверяют по данным с учётом случайного разброса.

Ситуация	Корректная нулевая гипотеза	Ошибка
Соль и прорастание	Доля проросших семян не зависит от концентрации соли.	Соль убивает семена.
Свет и рост	Средняя высота проростков не зависит от цвета освещения.	Красный свет лучше синего.
Вещество и частота сокращений	Частота сокращений не зависит от концентрации вещества.	Ничего не произойдёт.

Формулировка должна включать обе переменные и направление «не зависит» или «не различается». Избегайте слов «не влияет вообще»: один опыт проверяет конкретный показатель, диапазон доз, организм и время наблюдения, а не любое возможное действие.

90+ · Две нулевые гипотезы

Если исследование независимо изменяет два фактора, могут потребоваться две гипотезы: результат не зависит от фактора А; результат не зависит от фактора В. Для проверки взаимодействия факторов нужна отдельная формулировка и полноценный факторный дизайн.

10. Повторности, выборка и воспроизводимость

Живые объекты различаются даже при одинаковых условиях. Одно семя может быть повреждено, одна культура — загрязнена, одно измерение — неточно. Повторности помогают оценить, устойчив ли эффект и насколько данные варьируют.

Биологические повторности — независимые организмы или экспериментальные единицы. Технические повторности — повторные измерения одного образца. Размер выборки для биологического вывода считают по независимым единицам, а не по числу фотографий или измерений.

Биологические и технические повторности

Биологические повторы — независимые организмы, культуры, участки или экспериментальные единицы, которые отражают естественную вариабельность.

Технические повторы — повторные измерения одного и того же материала, оценивающие точность процедуры. Десять снимков одного листа не превращают один лист в десять растений.

Размер выборки и псевдоповторность

Если 50 семян проращивают в одной чашке, условия внутри чашки общие. Плесень, объём раствора или положение на полке одновременно затрагивают все семена.

Считать каждое семя полностью независимым наблюдением может быть псевдоповторностью. Надёжнее распределить семена по нескольким чашкам и случайно расположить чашки.

Рандомизация, стандартизация, ослепление

Приём	Какую ошибку уменьшает	Пример
Рандомизация	Систематическое различие исходного состава групп.	Семена случайно распределяют по чашкам, а чашки — по местам на полке.
Стандартизация	Различие процедур и условий.	Всем группам дают одинаковый объём раствора и измеряют в одно время.
Ослепление	Влияние ожиданий оценщика.	Фотографии корней кодируют так, чтобы измеряющий не знал группу.
Калибровка	Систематическую ошибку прибора.	Перед измерением проверяют веса эталонной массой.

80+ · Достоверность не равна «много чисел»

Большой объём зависимых измерений, неверный контроль или систематически разные условия не исправляются вычислением среднего. Сначала оценивают дизайн, затем — количество и разброс данных.

Случайная и систематическая ошибка

Случайная ошибка меняет отдельные измерения в разные стороны: одно значение получается немного выше, другое ниже. Повторные измерения и увеличение числа независимых объектов помогают оценить такой разброс. Систематическая ошибка сдвигает результаты в одном направлении. Неправильно откалиброванные весы могут каждый раз добавлять два грамма; сотня повторов сделает среднее очень стабильным, но не правильным.

Ситуация	Тип ошибки	Что делать
Линейку прикладывают к корню под немного разным углом.	Преимущественно случайная.	Единое правило измерения, повторные измерения, кодирование фотографий.
Весы всегда завышают массу на 0,5 г.	Систематическая.	Калибровка по эталону, замена прибора, поправка только при обосновании.

Ситуация	Тип ошибки	Что делать
Самые слабые растения исключают только из контроля.	Систематическая ошибка отбора.	Заранее задать критерии, применять их одинаково, рандомизировать.
Одна чашка случайно заражена плесенью.	Случайное событие на уровне экспериментальной единицы.	Несколько независимых чашек; прозрачное правило обращения с повреждённым повтором.

80+ · Проверка

Увеличение числа повторов уменьшает неопределённость среднего при случайной вариации, но не устраняет систематическое смещение. Перед вопросом «Достаточно ли объектов?» задайте вопрос «Измеряем ли мы то, что собирались измерять, одинаковым способом во всех группах?»

Точность, повторяемость и валидность

В школьных заданиях слово «достоверность» часто используется как общее. В реальном исследовании полезно разделять несколько характеристик. Повторяемость показывает, насколько близки результаты одинаковых измерений. Точность — насколько значение близко к принятому истинному или эталонному. Внутренняя валидность отвечает, действительно ли различие вызвано исследуемым фактором. Внешняя валидность — насколько вывод переносим за пределы конкретной выборки и условий.

Характеристика	Проверочный вопрос	Пример нарушения
Повторяемость	Получаем ли мы близкие значения при той же процедуре?	Измерения одного корня различаются на 10 мм.
Точность	Близко ли измерение к эталону?	Термометр стабильно завышает температуру.
Внутренняя валидность	Исключены ли другие причины различия групп?	Вместе со спектром света изменилась температура.
Внешняя валидность	На какие объекты и условия можно перенести вывод?	Один сорт растения исследован при одной температуре.
Воспроизводимость	Получат ли сходный результат другие исследователи?	Метод описан неполно; неизвестны концентрация и срок.

Экспериментальная единица: что действительно независимо

Экспериментальная единица — наименьший объект, которому независимо назначают воздействие. Если удобрение вносят в целый аквариум, экспериментальной единицей является аквариум, даже когда в нём живут двадцать растений. Растения внутри аквариума дают полезную информацию о вариации, но разделяют температуру, воду, микрофлору и ошибку дозирования.

Иерархия может быть сложнее: растения находятся в горшках, горшки — на полках, полки — в камерах. Если одной камере назначили одну температуру, а другой — другую, эффект температуры нельзя отделить от любой особенности камеры. Это называют смешением фактора с экспериментальной единицей. Увеличение числа

растений внутри тех же двух камер проблему не решает.

90+ · Алгоритм поиска псевдоповторности

Найдите объект, которому назначили воздействие независимо.

Спросите, какие наблюдения разделяют одну среду или одну процедуру.

Проверьте, есть ли несколько независимых единиц на каждое условие.

Сопоставьте уровень вывода с уровнем выборки: о растениях нельзя уверенно судить по одному растению и множеству его листьев.

Этика и безопасность как часть дизайна

Этические ограничения не стоят «после науки». Они определяют, какой вопрос и каким способом можно проверять. В исследованиях с человеком нужны информированное согласие, право отказаться, защита данных, оценка риска и независимое этическое рассмотрение. Нельзя скрывать от участника существенные риски ради ослепления. В исследованиях с животными используют принцип замены, сокращения числа животных и совершенствования процедуры, уменьшающего страдание.

Безопасность важна и в школьном опыте. Неизвестные микроорганизмы из окружающей среды нельзя открывать и выращивать без подходящих условий; плесень и химические растворы требуют закрытых ёмкостей и понятных правил утилизации. Методически правильный эксперимент не обязан быть сложным или рискованным: качество дизайна определяется логикой сравнения, а не опасностью процедуры.

Этическая допустимость метода является частью качества исследования. Точность результата не оправдывает нарушение прав участников или неоправданный риск для их безопасности.

11. Как читать таблицы, графики и диаграммы

График является частью данных. До объяснения биологического механизма необходимо прочитать подписи осей, единицы, диапазон и способ представления результатов.

Типы графиков: учебные примеры

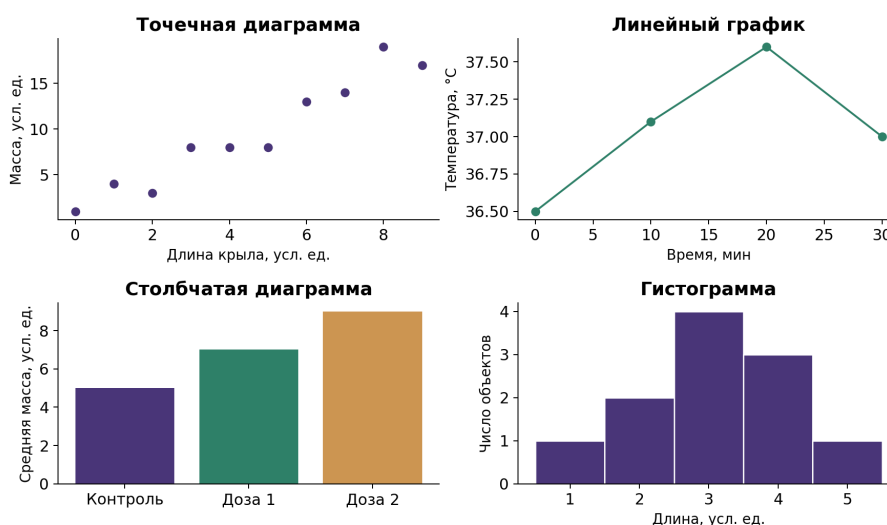


Рисунок. Основные типы графиков

70+ · Алгоритм чтения графика

Назвать величину и единицу на каждой оси.

Определить, что сравнивается: категории, время или две количественные величины.

Описать направление изменения без объяснения причины.

Назвать максимум, минимум, плато, перелом или исключение, если они есть.

Сформулировать вывод только для исследованного диапазона и объекта.

Среднее и разброс

Одинаковое среднее, разный разброс

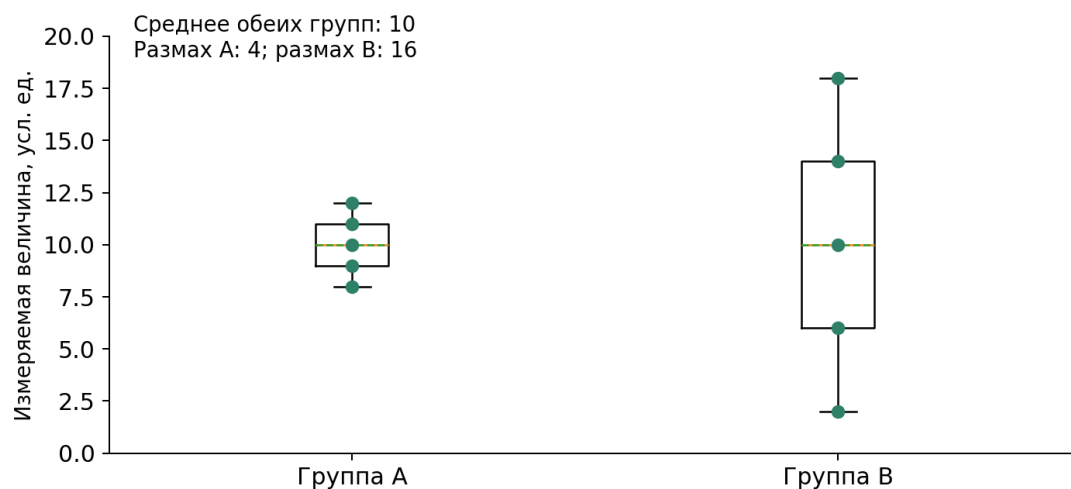


Рисунок. Медиана, квантили и выбросы

Два воздействия могут иметь разные средние, но сильно перекрывающиеся значения. По одному рисунку без описания статистики нельзя автоматически объявлять различие значимым или незначимым. Корректный ответ: «средние различаются, однако представленных данных недостаточно для вывода о статистической достоверности».

Корреляция и причинность

Корреляция: учебные данные

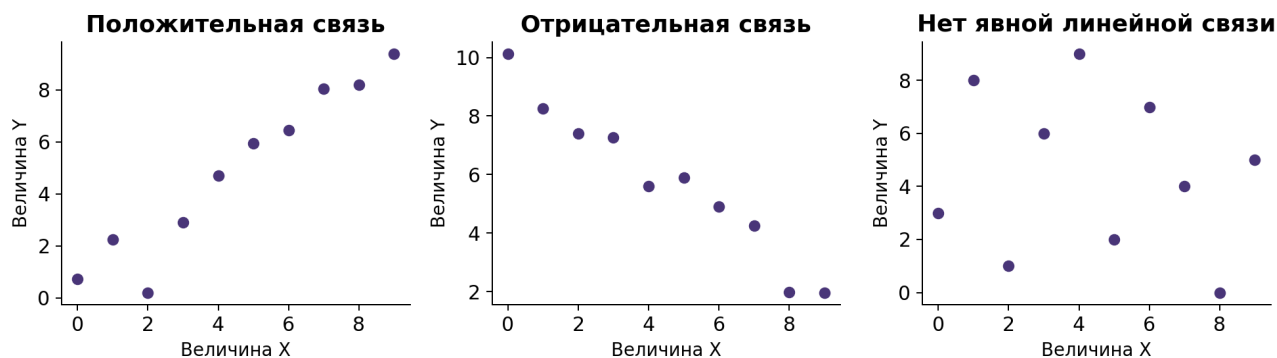


Рисунок. Примеры корреляции

Корреляция показывает совместное изменение величин. Она может возникнуть потому, что А влияет на В, В влияет на А, обе величины зависят от третьего фактора или связь случайна. Для причинного вывода нужен дизайн, который исключает альтернативы.

Масштаб оси и визуальное преувеличение

Те же данные: отличие В от А составляет 4%

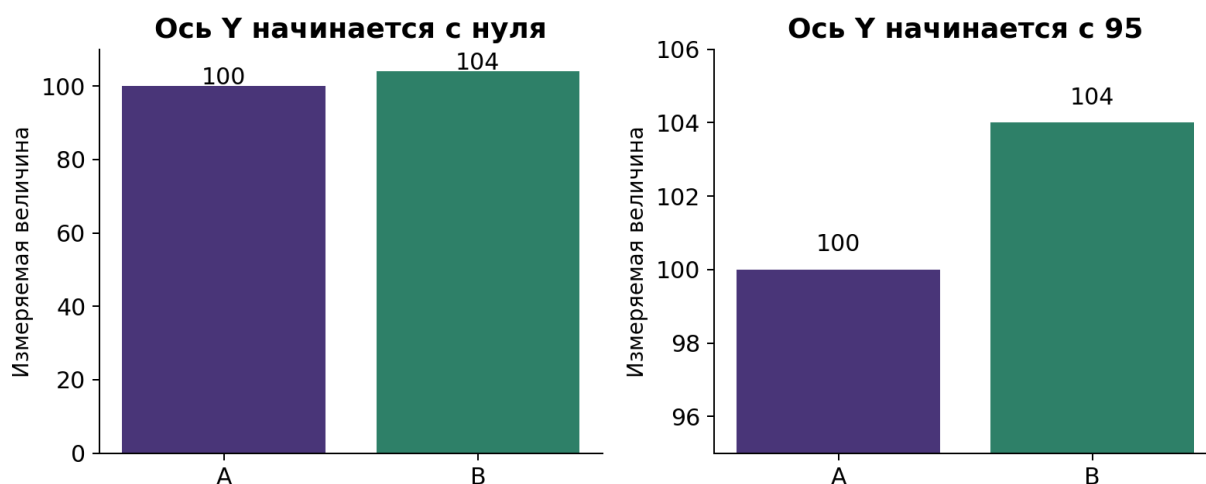


Рисунок. Искажение графика усечённой осью

Ось может начинаться не с нуля, особенно когда нужно показать небольшие изменения. Это не ошибка само по себе, но сравнивать следует численные значения, а не высоту столбцов «на глаз».

Сырые данные, среднее, медиана и размах

До построения графика исследователь получает ряд отдельных значений. Среднее удобно описывает центр распределения, но чувствительно к необычно большим или малым значениям. Медиана — центральное значение упорядоченного ряда — устойчивее к единичному выбросу. Размах показывает расстояние между минимумом и максимумом, но не описывает форму распределения и тоже зависит от крайних значений.

Ряд	Среднее	Медиана	Размах	Что видно
8, 9, 10, 11, 12	10	10	4	Симметричный компактный ряд.
6, 8, 10, 12, 14	10	10	8	Тот же центр, но больший разброс.
9, 10, 10, 11, 40	16	10	31	Среднее смещено единичным большим значением.

Статистический тест сопоставляет наблюдаемое различие и разброс с нулевой гипотезой и оценивает согласованность данных с ней. Тест не исправляет отсутствие контроля, малую независимую выборку или смешивающий фактор.

Проверьте запись, единицы, прибор и условия конкретного объекта. Сравните решение с заранее установленным правилом. Если значение исключено, причина сообщается. Полезно показать анализ с ним и без него. Прозрачность решения важнее желания получить «красивую» зависимость.

Статистическая и биологическая значимость

Даже устойчивое различие должно иметь биологический смысл. При очень большой выборке крошечное изменение может оказаться статистически различимым, но практически не менять жизнедеятельность организма. И наоборот, заметный по величине эффект в маленькой выборке может сопровождаться большой неопределённостью. Поэтому сильный вывод отвечает на два вопроса: насколько велик эффект и насколько уверенно он воспроизводится.

Пять ловушек при чтении данных

Ловушка	Что происходит	Контрольный вопрос
Усечённая ось	Небольшая разница выглядит огромной.	Каковы реальные числа и единицы?
Нет исходного уровня	Сравнивают конечные значения при разных стартах.	Каков прирост относительно начала?
Среднее без точек	Скрываются разброс, выбросы и размер выборки.	Сколько независимых наблюдений и как они распределены?
Линия между категориями	Создаётся впечатление непрерывного перехода.	Являются ли значения последовательными по времени/дозе?
Выбор удобного интервала	Показывают участок, поддерживающий желаемую историю.	Что происходит до и после выбранного диапазона?

От данных к выводу: четыре границы

Корректный вывод ограничен объектом, показателем, диапазоном и временем. Если изучали семена редиса, долю прорастания, 0–1,5% соли и пять суток, нельзя без дополнительной проверки говорить о росте взрослых растений, всех видах или любой солёности. Ограничение не делает вывод слабым; оно делает его точным.

70+ · Формула точного вывода

У [объект] в условиях [срок и процедура] при изменении [независимая переменная и диапазон] показатель [зависимая переменная] [направление и числа].

80+ · После вывода

Добавьте одну фразу об уверенности: эффект устойчив во всех независимых повторах / значения сильно варьируют / тип интервала и статистический тест не указаны / выборка мала. Не придумывайте статистическую значимость по внешнему виду столбцов.

12. Алгоритмы заданий ЕГЭ по эксперименту

данные в таблице или на графике

Прочитайте оси, единицы и легенду.

Найдите сравниваемые группы или интервалы.

Сначала опишите данные; не добавляйте знания, которых нет в условии.

Проверьте, не выходит ли вывод за изученный диапазон.

методологический мини-модуль

Назовите независимую переменную как фактор различия групп.

Назовите зависимую переменную как измеряемый результат.

Сформулируйте отрицательный контроль: убрать исследуемое воздействие, сохранить процедуру.

Сформулируйте нулевую гипотезу через «не зависит» или «не различается».

При вопросе о достоверности назовите конкретный смешивающий фактор и объясните, как он изменит зависимую переменную или размоет связь.

биологическое продолжение опыта

Биологическое объяснение эксперимента связывает наблюдаемый эффект с предметным механизмом. Объяснение должно раскрывать причину результата, а не повторять условие.

90+ · Конструктор развёрнутого ответа

1) факт из данных; 2) биологическая причина; 3) промежуточный процесс; 4) наблюдаемый результат. Если вопрос содержит несколько частей, ответьте на каждую отдельным нумерованным пунктом.

Как находить причинную цепочку

В развёрнутом ответе недостаточно назвать фактор и результат. Между ними нужен механизм. Полезно строить цепочку из четырёх звеньев: воздействие → изменение процесса или структуры → изменение функции → наблюдаемый показатель. Если звено пропущено, ответ превращается в повтор условия.

Слабый ответ	Причинная цепочка
Семена хуже прорастают, потому что соль мешает прорастанию.	Гипертонический раствор имеет более низкий водный потенциал → поступление воды в семя затрудняется; при достаточно высокой солёности клетки могут терять воду → нарушаются набухание и водный обмен → запуск обмена и прорастание замедляются.
При высокой температуре фермент работает хуже, потому что ему жарко.	Температура выше оптимума вызывает денатурацию фермента: нарушаются вторичная и третичная структуры белка, первичная обычно сохраняется → меняется активный центр → скорость реакции снижается.

Слабый ответ	Причинная цепочка
Лишайников меньше из-за загрязнения.	Это пока причинная гипотеза, а не вывод из корреляции; нужно проверить сопоставимые участки или провести контролируемое воздействие.

Как отвечать на вопрос о недостоверности

Фраза «результаты будут недостоверными» сама по себе ничего не объясняет. Ответ должен назвать нарушенный фактор, его влияние на измеряемый результат и потерю возможности отделить эффекты. Например: «В опытной группе температура была выше; температура сама изменяет скорость роста; поэтому различие роста нельзя однозначно связать с исследуемым веществом».

80+ · Три шага ответа

Назвать систематическое различие или источник ошибки.

Объяснить, как оно способно изменить зависимую переменную.

Сделать вывод: влияние исследуемого фактора нельзя отделить / зависимость будет искажена / сравнение групп потеряет смысл.

Воспроизводимость и описание метода

Результат становится частью науки, когда другой исследователь может понять, что было сделано, и попытаться повторить работу. Для этого нужны объект и критерии отбора, концентрации и объёмы, длительность, температура, число независимых повторов, способ измерения и правила исключения данных. Фраза «растения держали на свету» недостаточна: неизвестны спектр, интенсивность, расстояние и фотопериод.

Невоспроизводимый результат не обязательно ложен, но доверие к нему ниже. Несовпадение повторного опыта может выявить скрытое условие, нестабильный эффект или ошибку. Наука развивается не потому, что один опыт «окончательно доказал» идею, а потому, что разные данные выдерживают повторные проверки и уточняют границы объяснения.

90+ · Минимум описания опыта

Кто или что исследовано; как сформированы группы; что изменяли; что измеряли и в каких единицах; какие условия удерживали; сколько независимых повторов; когда измеряли; как анализировали; какие отклонения произошли.

[Пройти тест по этому уроку: 60 заданий с ответами](#)

[Следующий урок: Урок 2. Химическая организация клетки](#)

[Все материалы курса «Биология ЕГЭ»](#)



К разделу 04

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 1

Уровни организации живой природы

Один объект можно изучать на разных уровнях: пример цветкового растения.



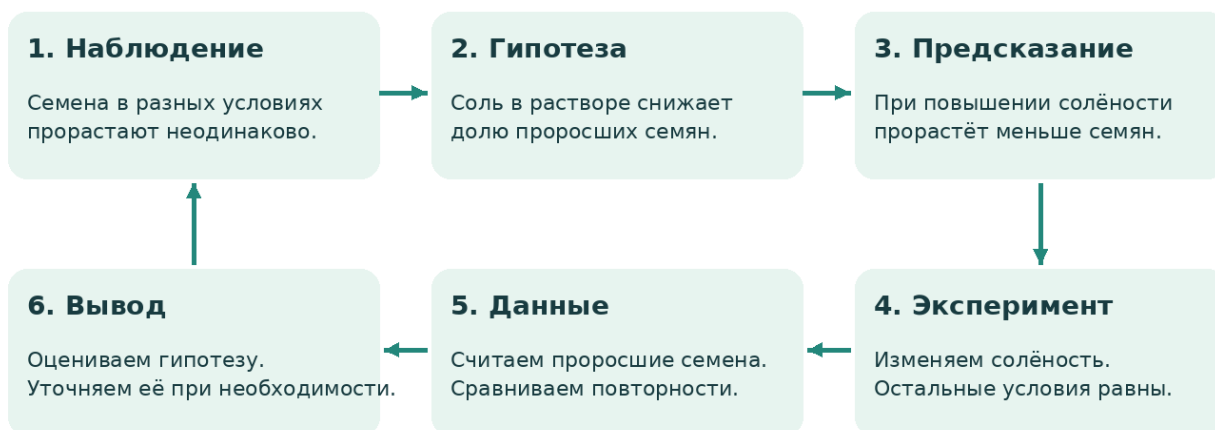
Тканевый и органный уровни выделяют у организмов, имеющих ткани и органы.

К разделу 06

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 1

Научный метод: проверка по кругу

Результат опыта может потребовать изменить гипотезу и повторить исследование.



Один опыт поддерживает или ставит под сомнение гипотезу, но не доказывает её навсегда.



К разделу 07

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 1

Переменные в контролируемом опыте

Влияние концентрации соли на прорастание семян. Схема постановки, без результатов.



Меняем: концентрацию NaCl в растворе.

Измеряем: долю проросших семян через 5 суток, %.

Сохраняем: вид, партию семян, свет, температуру и объём раствора.

Для каждой концентрации нужны независимые повторности.

Контроль показывает прорастание при той же процедуре, но без исследуемого воздействия соли.

К разделу 10

БИОЛОГИЯ ЕГЭ / УРОК 1

Повторные измерения $\neq$ новые объекты

Три растения дают три биологические повторности, если выращены независимо.



Измеряем высоту каждого растения три раза.

Повторные измерения оценивают точность измерения.

Итого: 3 независимых объекта, а не 9.

Если фактор задают целому горшку, независимой единицей опыта может быть горшок, а не растение.